

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Хакасский технический институт – филиал ФГАОУ ВО
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
институт

Электроэнергетика
Кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Г.Н. Чистяков
подпись инициалы, фамилия
« ____ » _____ 2020г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.02.»Электроэнергетика и электротехника»
(КОД И НАИМЕНОВАНИЕ СПЕЦИАЛЬНОСТИ)

Анализ современных методов контроля и диагностики асинхронных
двигателей ООО «ИСО»
наименование темы

Руководитель _____ доцент каф.ЭЭ,к.э.н. Н.В. Дулесова
подпись, дата инициалы, фамилия

Выпускник _____ - 15.06.2020 В.Ю. Ерахтин
подпись, дата инициалы, фамилия

Нормоконтролёр _____ И.А. Кычакова
подпись, дата инициалы, фамилия

Абакан 2020

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Хакасский технический институт –
филиал ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»
институт

«ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА»
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Г.Н. Чистяков
подпись инициалы, фамилия
«_____» _____ 2020г.

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме бакалаврской работы

Студенту Ерахтину Валерию Юрьевичу

фамилия, имя, отчество

Группа 3-15 Направление (специальность) 13.03.02

номер

код

Электроэнергетика и электротехника

наименование

Тема выпускной квалификационной работы Анализ современных методов контроля и диагностики асинхронных двигателей ООО «ИСО»

Утверждена приказом по институту № 306 от 03.06.2020

Руководитель ВКР Дулесова Н.В., к.э.н. доцент кафедры

«Электроэнергетика»

Исходные данные для ВКР элементы системы электроснабжения, характеристики электродвигателей

Перечень разделов ВКР

Введение

1 Теоретическая часть

1.1 Основные понятия и определения диагностики оборудования. Система технической диагностики асинхронных двигателей

1.2 Виды и причины дефектов асинхронных двигателей

1.3 Методы контроля и диагностики асинхронных двигателей

2 Аналитическая часть

2.1 Характеристика ООО «ИСО» и других организаций, осуществляющих диагностику асинхронных двигателей

2.2 Анализ методов контроля и диагностики асинхронных двигателей в ООО «ИСО»

3 Практическая часть

3.1 Характеристика виброанализатора CSI 2140

3.2 Экономический эффект от внедрения прибора контроля и диагностики асинхронных двигателей

Заключение

Список используемых источников

Перечень графического материала:

1. Методы контроля и диагностики асинхронных двигателей

2. Анализ методов контроля и диагностики асинхронных двигателей

3. Функциональные возможности виброанализатора CSI 2140 и экономический эффект от его внедрения

Руководитель ВКР

подпись

Н.В. Дулесова

инициалы и фамилия

Задание принял к исполнению

подпись, инициалы и фамилия студента

« 20 » февраля 2020 г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Анализ современных методов контроля и диагностики асинхронных двигателей ООО «ИСО»» содержит 58 страниц текстового документа, 34 использованных источника, 3 листа графического материала, одно приложение.

АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ, ЭКСПЛУАТАЦИЯ, КОНТРОЛЬ, ДИАГНОСТИКА, МЕТОДЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ, ПРИБОРЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ, ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ.

Объект исследования – система электроснабжения предприятия.

Предмет исследования – режим работы асинхронных электродвигателей различных марок.

Целью данной работы является анализ современных методов контроля и диагностики асинхронных двигателей, применяемых в различных сервисных компаниях, в том числе в ООО «ИСО».

Задачи ВКР:

- дать основные понятия и положения диагностики;
- рассмотреть концепцию и результаты диагностики асинхронных двигателей;
- исследовать виды и причины дефектов асинхронных двигателей и описать методы их выявления;
- дать характеристику организаций, осуществляющих диагностику асинхронных двигателей и произвести анализ методов контроля и диагностики асинхронных двигателей, применяемых этими организациями;
- описать характеристики виброанализатора и оценить экономический эффект от внедрения прибора.

В ВКР рассматриваются основные понятия и положения диагностики, а также концепция и результаты диагностики асинхронных двигателей.

Исследуются различные виды и причины дефектов асинхронных двигателей и описать методы их выявления.

Дана характеристика организаций, осуществляющих диагностику асинхронных двигателей и произведен анализ методов контроля и диагностики асинхронных двигателей, применяемых этими организациями.

Приводятся характеристики виброанализатора CSI 2140 и оценен экономический эффект от внедрения прибора.

THE ABSTRACT

The final qualifying work on the topic “Analysis of modern methods of monitoring and diagnostics of induction motors of ISO LLC” contains 58 pages of a text document, 34 sources used, 3 sheets of graphic material, one appendix.

ASYNCHRONOUS ENGINE, OPERATION, MONITORING, DIAGNOSTICS, METHODS FOR DIAGNOSTING THE TECHNICAL CONDITION, DEVICES FOR MONITORING AND DIAGNOSTICS, ECONOMIC EFFECT.

The object of study is the power supply system of the enterprise.

The subject of the study is the operation mode of asynchronous electric motors of various brands.

The aim of this work is to analyze modern methods of monitoring and diagnostics of induction motors used in various service companies, including OOO ISO.

Tasks of the WRC:

- give the basic concepts and provisions of the diagnosis;
- consider the concept and diagnostic results of induction motors;
- to investigate the types and causes of defects of induction motors and describe methods for their identification;
- to characterize organizations involved in the diagnosis of asynchronous motors and to analyze the methods of control and diagnosis of asynchronous motors used by these organizations;
- describe the characteristics of the vibration analyzer and evaluate the economic effect of the introduction of the device.

In WRC, the basic concepts and provisions of diagnostics are considered, as well as the concept and results of diagnostics of asynchronous motors.

Various types and causes of defects of induction motors are investigated and methods for their identification are described.

The characteristic of the organizations carrying out diagnostics of asynchronous motors is given and the analysis of methods of control and diagnostics of asynchronous motors used by these organizations is made.

The characteristics of the CSI 2140 vibration analyzer are given and the economic effect of the introduction of the device is estimated.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	6
1 Теоретическая часть.....	8
1.1 Основные понятия и определения диагностики оборудования. Система технической диагностики асинхронных двигателей.....	8
1.2 Виды и причины дефектов асинхронных двигателей.....	10
1.3 Методы контроля и диагностики асинхронных двигателей.....	14
2 Аналитическая часть.....	18
2.1 Характеристика ООО «ИСО» и других организаций, осуществляющих диагностику асинхронных двигателей.....	18
2.2 Анализ методов контроля и диагностики асинхронных двигателей.....	25
3 Практическая часть	37
3.1 Характеристика виброанализатора CSI 2140	37
3.2 Экономический эффект от внедрения прибора контроля и диагностики асинхронных двигателей	46
Заключение	53
Список использованных источников	54
Приложение А	58
Приложение Б	59

ВВЕДЕНИЕ

В процессе развития производства появилась необходимость в различных двигателях, которые составили основную массу вращающихся электрических машин на различных предприятиях. Процесс их работы и параметры от начал эксплуатации и до очередного ремонта необходимо постоянно контролировать доступными и современными средствами диагностики, и чем раньше буде осуществляться такая диагностика, тем больше шансов определять надвигающейся в процессе работы потенциальные поломки [23, 31].

Доля асинхронных двигателей в общем числе электродвигателей, работающих на переменном токе стандартной частоты, составляет менее 30%. Дело в том, что основную массу (около 50%) составляют маломощные двигатели постоянного тока (например, микродвигатели, приводящиеся во вращение с помощью батареек). Тем не менее, достаточно крупные асинхронные двигатели широко используются в промышленности [15].

Если взять любую отрасль, то там можно встретить в различных производственных зданиях разнообразные типы асинхронных электродвигателей. Они пользуются широким спросом ввиду их достаточно высоких технических и электрических характеристик: высокого КПД, достаточно большого коэффициента активной мощности, простым конструктивным особенностям и т.д. Двигатели постоянного тока расходуют больше электроэнергии, стоимость их весьма высока, особенно крупных электрических машин. Поэтому асинхронные двигатели, несмотря на то, что они не могут так плавно регулироваться, как двигатели постоянного тока, обладают остальными другими своими преимуществами, особенно на производстве.

Любой двигатель, синхронный, асинхронный или постоянного тока – все они могут ломаться в процессе эксплуатации при воздействии различных отрицательных для них факторов, поэтому необходима профилактика их технического состояния. И если вовремя не принять меры, то это может привести к большим материальным убыткам.

В связи с этим диагностическая система контроля различных параметров электродвигателей переменного тока должна осуществлять обнаружение неисправностей на ранних этапах их возникновения и развития. Необходимость таких обследований и тестов особенно вызывается большим парком дорогостоящих асинхронных электродвигателей, в том числе большой и очень большой мощности, и для этого существуют специальные компании, занимающиеся контролем и обслуживанием не только электродвигателей, но и различного другого электрооборудования.

Опыт эксплуатации асинхронных двигателей в России и в других развитых странах дает знать, что легче в рамках планово-предупредительной системы их технического обслуживания заботиться о контроле их параметров, осуществлять вовремя диагностику всех их систем и узлов, чем по истечение

определенного времени устранять последствия не выявленных и непредупрежденных неисправностей и терпеть финансовые потери. Важным этапом здесь является прогнозирования их технического состояния с помощью самых современных средств диагностирования. Особенно это касается дефектов скрытого характера и наиболее уязвимых частей машины (обмоток) [6].

Направление развития средств диагностирования играет в контроле параметров асинхронных электродвигателей решающую роль. Существует необходимость стремления к общей цели – как можно дольше в рамках выбранной стратегии осуществлять контроль эксплуатационных показателей.

Актуальность диагностики асинхронных двигателей является несомненной, поскольку это позволяет непрерывно осуществлять выпуск продукции, минимизировать потенциальные потери от недоотпуска продукции, улучшить показатели работы двигателей.

Объект исследования – система электроснабжения предприятия.

Предмет исследования – режим работы асинхронных электродвигателей различных марок.

Целью данной работы является анализ современных методов контроля и диагностики асинхронных двигателей, применяемых в различных сервисных компаниях, в том числе в ООО «ИСО».

Задачи ВКР:

- дать основные понятия и положения диагностики;
- рассмотреть концепцию и результаты диагностики асинхронных двигателей;
- исследовать виды и причины дефектов асинхронных двигателей и описать методы их выявления;
- дать характеристику организаций, осуществляющих диагностику асинхронных двигателей и произвести анализ методов контроля и диагностики асинхронных двигателей, применяемых этими организациями;
- описать характеристики виброанализатора и оценить экономический эффект от внедрения прибора.

1 Теоретическая часть

1.1 Основные понятия и определения диагностики оборудования. Система технической диагностики асинхронных двигателей

Областью знаний, которая занимается идентификацией совокупности параметров некоторой системы асинхронного двигателя, связанной с диагностированием отдельных его элементов и узлов как электрического, так и механического характера.

Неопределенность информации является при этом ограничивающим фактором и появляется некоторая расплывчатость информации и параметров, ее определяющих. Важно собирать информации как можно больше, сколько позволяют технические приборы и средства диагностики

Идеальным вариантом диагностики можно считать вариант, когда она осуществляется без остановки производственного механизма или агрегата и тем самым ликвидируется простой работы оборудования. Если не удастся без остановки продиагностировать электрическую машину, то нужно сделать полный или частичный разбор для определения стабильности работы каждой части системы асинхронного двигателя. Это позволит определить время, в течение которого необходимо подвергнуть ремонту асинхронный электродвигатель, чтобы не допустить возможных отказов.

Целью системы технической диагностики любого оборудования выступает установление номинальных показателей работы, которые являются некоторыми эталонными значениями с точки зрения стандартизации. При этом должным образом должно происходить установление неисправностей на начальных этапах их развития и возникновения.

Все виды затрат на функционирование системы технической диагностики должны быть минимизированы.

Плановая техническая диагностика проводится в соответствии с действующими нормами и правилами. Кроме того, она позволяет судить о возможности дальнейшей эксплуатации оборудования, когда оно отработало нормативный срок службы.

Внеплановая техническая диагностика оборудования проводится в случае обнаружения нарушений его технического состояния.

Если диагностика проводится во время работы оборудования, она называется функциональной.

В России и в других странах разработаны диагностические системы, основанные на различных физических и математических моделях, являющихся ноу-хау производителя. Поэтому детальное описание алгоритма и математического обеспечения таких систем в литературе отсутствует.

В России созданием таких систем занимаются ведущие заводы – производители электрических машин и трансформаторов, совместно с ведущими научно-исследовательскими институтами. За рубежом работы по созданию

диагностических систем координируются научно-исследовательским институтом электроэнергетики EPRI (США).

Выбранные диагностические параметры должны удовлетворять требованиям полноты, информативности и доступности их измерения при наименьших затратах времени и средств. При выборе диагностических параметров приоритет отдается тем, которые удовлетворяют требованиям определения истинного технического состояния данного оборудования в реальных условиях эксплуатации. На практике обычно используют не один, а несколько параметров одновременно.

В состав диагностической информации могут входить [8] элементы, представленные на рисунке 1.1. Там же представлены возможные состояния оборудования, которые могут храниться в созданной специально базе данных. Эта база может быть легко обновлена или проконтролирована метрологами предприятий или энергосервисных организаций.

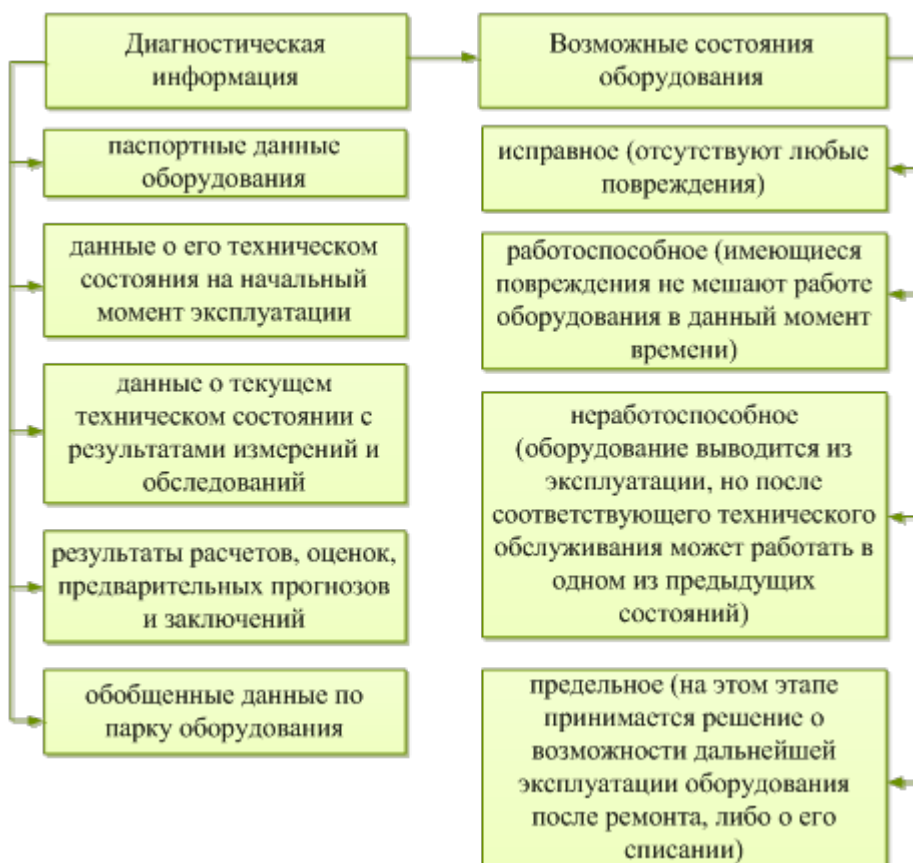


Рисунок 1.1 – Диагностическая информация и возможные состояния оборудования

Система технической диагностики машин переменного тока, в том числе асинхронных электродвигателей включает в себя три составляющие, содержащие общие требования, ограничения по контролируемым параметрам и, собственно, проблематику (рисунок 1.2) [4]. Общие требования определяются точностью, стабильностью и информативностью. Ограничения по контролируемым параметрам определяются в основном сложностью самой установки

(агрегата с асинхронным двигателем) и определенной степени опасности технологическим процессом, который она обслуживает. Проблематика, т.е. существующие пробелы в области диагностики, определяются отсутствием универсального и наилучшего метода диагностики асинхронных двигателей, определением границ работоспособности таких агрегатов, а также оценкой чувствительности работы диагностических приборов.



Рисунок 1.2 – Система технической диагностики асинхронных двигателей

Совершенствование системы технической диагностики асинхронных двигателей видится в том, чтобы создать модульную систему, позволяющую делать так, чтобы каждая ее деталь давала хорошие результаты прогнозирования в условиях некоторой неопределенности и расплывчатости информации об асинхронных электродвигателях (их параметрах, свойствах и характеристиках электрического или неэлектрического характера), входящих в состав одноименных электроприводов. При этом необходимо стремиться улучшению работоспособности на практике и совершенствованию диагностики электрических параметров, параметров вибрации, других механических показателей.

1.2 Виды и причины дефектов асинхронных двигателей

Рассмотрим, какие существуют первопричины дефектов, возникающих в асинхронных электродвигателях (рисунок 1.3). Эти дефекты разнообразны и зависят от природы возникновения механических, электрических и других внешних и внутренних воздействий. Выделим источники развития повреждений в указанных электрических машинах переменного тока, при этом нагляднее представить их в виде круговой диаграммы в процентном соотношении

(рисунок 1.4). Больше всего возникает дефектов вследствие перегрузок.



Рисунок 1.3 – Причины неисправностей и дефектов асинхронных электродвигателей



Рисунок 1.4 – Источники развития повреждений в электрических машинах

Другая возможная классификация неисправностей с точки зрения дефектов подшипников показана на рисунке 1.5.



Рисунок 1.5 – Другая возможная классификация неисправностей

Характерные неисправности статора и ротора можно наблюдать на рисунке 1.6. Это в своем большинстве явления электрического характера, связанные с механикой вращения асинхронного двигателя.



Рисунок 1.6 – Дефекты статора и ротора асинхронной машины

Материальные убытки могут возникать вследствие перечисленных дефектов и они бывают разных типов. Первый из них можно отнести к значительным затратам, составляющим величину до 10%, что означает перерасход

электрической энергии во время работы двигателя. Второй из них, называемый прямым, может повлечь расстройство технологического процесса на предприятии, что часто связано с незначительными потерями по сравнению с первым видом убытков.

Повреждения асинхронных двигателей в зависимости от мощности показывают, что в двигателях:

- небольшой мощности (0,75-50 кВт) чаще всего происходят дефекты статора и подшипников;
- средней мощности (свыше 50 и до 200 кВт) – дефекты статора и ротора;

Для всех асинхронных двигателей мощностью до 200 кВт повреждения статора составляют в среднем 45-55% всех повреждений (рисунок 1.7).

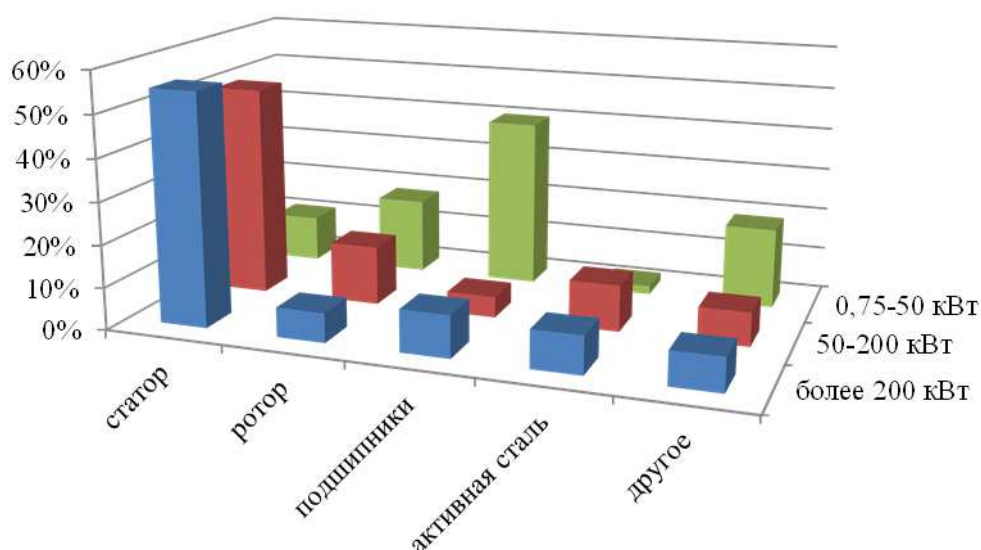


Рисунок 1.7 – Повреждения асинхронных двигателей в зависимости от мощности

Классификация по связи диагностируемых параметров с видами дефектов двигателя переменного тока представлена в Приложении А. Из этой классификации видно, что наибольшей информативностью по дефектам обладают такие диагностируемые параметры, как вибрация и спектр токов.

В зависимости от скорости развития функциональные дефекты делятся на две группы: быстро развивающиеся, вызывающие внезапные сбои, и медленно развивающиеся. Категория 1 включает предсказание отказов, которые являются результатом технологических дефектов или повреждений под воздействием результирующей нагрузки, превышающей силу ослабления объектов. Категория 2 включает в себя реализацию, возникновение и развитие, которые можно регистрировать, прогнозировать и контролировать на самом важном уровне [28].

Основные типы производительности в режиме массового производства: ошибки при изготовлении компонентов, параметры, превышающие допусти-

мые пределы, и накопленные дефекты, включая равновесие, наличие эксцентриситета, дифференциальное искажение, зазоры, относительное смещение деталей перекрытие, несоблюдение технологии смазки и т. д., На этапе эксплуатации, из-за естественного процесса старения объектов, параметры двигателя со временем меняются, вызывая проблемы со взрывами двигателей.

1.3 Методы контроля и диагностики асинхронных двигателей

Идеальный современный способ диагностирования электродвигателей должен отвечать следующим требованиям [31]:

- проводить тесты дистанционного зондирования, которые полезны в ситуациях, когда доступ к оборудованию затруднен;
- низкая сложность когнитивной функции (измерения) и простота измерения;
- высокая надежность и точность выявления неисправностей и повреждений электродвигателя;
- возможность обработки анализа результатов измерений, полученных за короткое время, с использованием компьютерных и программных средств.
- способность обнаруживать все или значительную часть электрических и механических повреждений электрического двигателя и соответствующего механического оборудования.

Существуют методы контроля и диагностики, разработанные для конкретных типов двигателей, опирающиеся на различные стандарты и методики, например ГОСТ IEC/TS 60034-24-2015, ГОСТ Р ИСО 13373-1-2009, ГОСТ ISO 20958-2015 и др.[9-11].

Типичная диагностическая система, показанная рисунке 1.8, состоит из узла датчиков, который подает сигнал неисправности в блок обработки сигналов, который далее отправляет его результат для анализа экспертными системами, где в конечном итоге обнаруживается соответствующая неисправность.



Рисунок 1.8 – Система диагностики асинхронного двигателя

Среди методов диагностики асинхронного двигателя можно выделить такие группы методов: вибродиагностики, электромагнитной, токовой и тепловой диагностики. Ряд авторов предлагает различные методы диагностики

асинхронных двигателей [1-5, 7, 16-21, 24, 29]. Например, одним из авторов предложена следующая классификация методов диагностики асинхронного двигателя [28]:

- идентификация механических смазываемых узлов на основе анализа содержания металлов;
- тестирование состояния изоляции двигателя;
- на анализе акустических улучшений, полученных от работающего двигателя;
- по измерению и анализу магнитного потока в зазоре и поле внешнего поля;
- по измерению и анализу температуры машинных объектов;
- на основе теста вибраций составляющих двигателя;
- на основании анализа параметров двигателей.

Если эти методы сгруппировать по принципу действия, то можно получить опять же те четыре группы методов, указанных выше.

Методы вибродиагностики составляют большинство современных методов диагностики. Суть методов заключается в анализе вибрационных параметров в различных точках электродвигателя. К вибрационным параметрам относятся виброперемещение, виброускорение и виброскорость. Регистрации подлежат как действующие (среднеквадратичные) значения, так и пик-фактор. Большое распространение получили также методы спектрального анализа, в которых в качестве диагностических параметров используют значения амплитуды отдельных гармонических составляющих вибрационного сигнала [1, 5, 17, 28, 30, 32].

Существует ряд факторов, влияющих на обоснованность применения какого-либо из методов вибродиагностики в каждом конкретном случае: режим работы АД, требуемая точность диагностики, условия, в которых проводятся операции диагностики, требования к виброизмерительной и виброанализирующей аппаратуре, качество электроэнергии.

Наиболее распространенными группами методов вибродиагностики асинхронного двигателя являются [31]:

- диагностика асинхронного двигателя по среднеквадратичному значению вибросигнала;
- вибродиагностика асинхронного двигателя с помощью фазовых портретов (траекторий колебаний);
- спектральный анализ;
- спектральный анализ огибающей;
- кепстральный анализ;
- ультразвуковая дефектоскопия и акустическая диагностика;
- специальные диагностические параметры;
- статистические методы обработки сигналов вибрации;
- вейвлет-анализ;

- диагностика на основе нечеткой логики;
- диагностика на основе нейронных сетей [24];
- диагностика на основе гибридных сетей, сочетающих в себе свойства нейронных сетей и нечеткого моделирования.

Последние три метода можно отнести к интеллектуальным методам.

Ряд источников выделяют метод анализа спектров тока двигателя [6, 7, 12, 23, 31]. Он используется для обнаружения повреждений ротора, несимметрии а статоре и неравномерность воздушного зазора.

Физический принцип, положенный в основу этого метода, заключается в том, что любые возмущения в работе электрической и/или механической части электродвигателя и связанного с ним устройства приводят к изменениям магнитного потока в зазоре электрической машины и, следовательно, к слабой модуляции потребляемого электродвигателем тока.

Анализ сигнатуры тока двигателя основан на обнаружении токовых гармоник с частотами, которые различают каждую категорию неисправностей. Кроме того, не требуется дополнительная установка измерительной системы. Сломанные стержни вызывают асимметрию ротора, искажение распределения тока ротора и, следовательно, изменения магнитодвижущей силы ротора (МДС). Повреждение стержней ротора имеет отличительную характеристику частот. В случае повреждения стержня можно ожидать боковые полосы вокруг частоты питания в спектре мощности фазного тока.

Методы электромагнитной диагностики асинхронного двигателя основаны на измерении электрических и магнитных величин, зависящих от прогрессивности дефекта. Данные методы позволяют обеспечить точную диагностику, так как измеряемые величины непосредственно зависят от дефекта [19]. Информацию о техническом состоянии объекта можно получить на основе метода измерения характеристик поля рассеяния, существующего вблизи работающей машины, и являющегося частью общего магнитного потока.

Тепловой метод диагностирования асинхронного двигателя применяется при их рабочих режимах функционирования [3]. При этом определяются параметры тепловых процессов, сопровождающие электромагнитные процессы при нарушениях нормальных режимов и старении конструкционных материалов: температура в пазах статора, стержнях ротора, щеточно-контактного аппарата, охлаждающих жидкостей и т. д. Методы тепловой диагностики реализуется с помощью терморезисторов, термопар и тепловизоров.

Среди известных методов функциональной диагностики асинхронных электродвигателей можно выделить [21] такую группу методов:

- методы, основанные на измерении скольжения;
- методы, основанные на анализе вибрации;
- методы, основанные на анализе тока статора;
- методы, основанные на анализе внешнего магнитного поля;

– методы, основанные на анализе электромагнитного поля внутри двигателя.

Также известны методы, основанные на анализе акустических колебаний, создаваемых работающей машиной, методы, основанные на измерении и анализе магнитного потока в зазоре двигателя и внешнего магнитного поля, методы, основанные на измерении и анализе температуры отдельных элементов машины, методы диагностики механических узлов (подшипников) основанные на анализе содержания железа в масле, методы диагностики состояния изоляции [6]. Методы анализа акустических колебаний не чувствительны к электрическим дефектам электродвигателя и способны определять только механические повреждения [2].

Метод виброакустической диагностики основан на измерении вибрационных параметров корпуса электрической машины и ее движущихся узлов. Данный метод является наиболее распространенным для диагностики состояния АД, т. к. позволяет не только выявить уже развившуюся неисправность и предотвратить катастрофические разрушения, но и обнаружить развивающийся дефект на очень ранней стадии, что дает возможность прогнозировать аварийную ситуацию и обоснованно планировать сроки и объем ремонта оборудования [17].

По сопоставлению всех технических, методологических и экономических факторов можно сделать вывод, что для практической реализации наиболее перспективными являются методы диагностики асинхронных двигателей, основанные на анализе электрических параметров двигателя, а именно спектров напряжений и токов, а также параметров вибрации.

Основным способом получения диагностической информации является спектральный анализ вибрации, измеряемой в разных точках и направлениях. Спектральный анализ низкочастотной вибрации электродвигателей и оборудования является одним из основных направлений функциональной диагностики, позволяющих обнаруживать до половины возможных дефектов машин роторного типа задолго до возникновения аварийной ситуации.

2 Аналитическая часть

2.1 Характеристика ООО «ИСО» и других организаций, осуществляющих диагностику асинхронных двигателей

Русская Инжиниринговая Компания создана 18 августа 2005 года как управляющая компания Инжинирингово-строительного дивизиона РУСАЛа в пределах территории Промплощадки данного завода.

Далее создана организация 'Филиал общества с ограниченной ответственностью "Инжиниринг Строительство Обслуживание" в г. Саяногорск' и зарегистрирована 05 декабря 2018 года по адресу 121087, г. Москва, ул. Барк-лая, дом 6, строение 5, эт. 4, ком. 22ж.

Очередная реорганизация Общества произошла 01.03.2019 и оно трансформировалось в ООО «ИСО».

Создание данного подразделения позволило объединить научно-исследовательскую и проектно-изыскательскую работу, разработку и внедрение инновационных технологий, производство оборудования, управление инвестиционно-строительными проектами и сервисное обслуживание промышленных предприятий. Предпосылками создания ООО «ИСО» явилось:

- большое количество проектов строительства и модернизации производственных объектов в РУСАЛе;
- отсутствие российских компаний, оказывающих услуги в области проектирования, снабжения и управления строительством, имеющих опыт работы в области промышленного строительства;
- необходимость интеграции подразделений РУСАЛа, участвующих в проектах строительства и модернизации:
 - 1) «ВАМИ» (Проектирование);
 - 2) инженерно-технологический центр по алюминию (модернизация, исследования и новые технологии по алюминию);
 - 3) инженерно-технологический центр по глинозему (инжиниринг и технология по глинозему);
 - 4) «Сервисный центр» (сервисное обслуживание действующих предприятий, спецмонтаж оборудования);
 - 5) «Промпарк Сибирь» (изготовление основного оборудования).

Основной задачей ООО «ИСО» является подготовка проектов, организация и общее управление строительством алюминиевых, глиноземных заводов и других промышленных объектов в России и за рубежом. «РУС-Инжиниринг» совершенствует технологии управления строительством и разрабатывает специальные программные продукты, позволяющие максимально эффективно реализовывать проекты Объединенной компании по модернизации уже существующих и созданию новых производственных мощностей.

Для решения этой задачи ООО «ИСО» использует лучшее программное обеспечение в области управления проектами и разрабатывает собственную

методологию управления строительными проектами, основанную на мировом опыте и международных стандартах.

ООО «ИСО» является уникальной среди российских компаний, так как объединяет процессы управления в течение всего жизненного цикла проекта: формирование стратегии развития, НИОКР, разработка бизнес-идеи проекта и технико-экономических обоснований, реализация проекта по принципам ЕРСМ, ввод в эксплуатацию объекта и вывод на проектную мощность, изготовление оборудования, сервисное обслуживание действующего производства.

Централизация всех ЕРСМ-процессов в одном подразделении Объединенной компании позволяет снизить затраты на крупнотоннажные строительные материалы и основное оборудование, а также снизить затраты на подготовку технико-экономических обоснований и проектную документацию. Среди приоритетных проектов ООО «ИСО» – строительство алюминиевых заводов в Красноярском крае и Иркутской области, возведение Богучанской ГЭС, строительство Боксито-глиноземного комплекса в республике Коми и др.

Сведения о видах экономической деятельности ООО «ИСО» по ЕГРЮЛ:

Основной вид деятельности: Предоставление услуг по монтажу, ремонту, техническому обслуживанию и перемотке электродвигателей, генераторов и трансформаторов.

Производство электрической распределительной и регулирующей аппаратуры.

Предоставление услуг по монтажу, ремонту и техническому обслуживанию электрической распределительной и регулирующей аппаратуры.

Структура ООО «ИСО» представлена на рисунке 2.1.



Рисунок 2.1 – Структура ООО «ИСО»

Основной задачей ООО «ИСО» является подготовка проектов, организация и общее управление строительством алюминиевых, глиноземных заводов и других промышленных объектов в России и за рубежом. Одним из главных обслуживаемых объектов является завод РУСАЛ.

Для эффективного и своевременного обслуживания и ремонта оборудования используется лучшее программное обеспечение в области управления проектами и разработана собственная методология управления строительными проектами, основанная на мировом опыте и международных стандартах.

Среди основных видов деятельности ООО «ИСО» наряду с предоставлением различных услуг, является производство электрической распределительной и регулирующей аппаратуры, а также аппаратуры для эффективного осуществления основных металлургических процессов алюминиевых заводов. В этой области имеется инновация, реализуемая посредством имеющегося на базе предприятия научно-технического потенциала (исследовательско-аналитического центра).

Предприятие ООО «ИСО» совместно с группой компаний РУСАЛ организовало производство нового изделия – защитной азотно-водородной атмосферы для термометаллургических процессов, используя собственные и заемные средства.

Специалисты компании ООО «ИСО» могут осуществлять вибродиагностику вращающихся электрических машин роторного типа – асинхронных электродвигателей.

ИТ-компания «Комплексные решения облачных корпораций» (КРОК) – один из лидеров российского рынка информационных технологий. ИТ-компания создает новую цифровую экосистему общества, реализуя проекты в 40 странах мира [12].

Среди ключевых компетенций КРОК:

- создание интегрированных платформ межгосударственного и межведомственного взаимодействия;
- разработка ПО и аппаратных решений, мобильных приложений и цифровых платформ, взаимодействие с клиентами;
- ИТ-поддержка и ИТ-аутсорсинг;
- оптимизация хранения и защита данных;
- обеспечение омниканального взаимодействия с потребителями;
- внедрение промышленных решений;
- создание и эксплуатация инженерной инфраструктуры для зданий и целых организаций.

Решения и услуги:

1. ИКТ и инженерная инфраструктура:

- Облачная инфраструктура;
- ЦОДы, вычислительная инфраструктура;
- Программно-определяемая инфраструктура;

- Телеком инфраструктура;
- Инженерная инфраструктура;
- Объединенные коммуникации;
- Звук, видео, свет.
- 2. Интеграция, управление и безопасность:
 - Управление ИТ-процессами и инфраструктурой;
 - Интеграционные решения;
 - Мобильные решения;
 - Информационная безопасность.
- 3. Прикладные и бизнес-решения:
 - Бизнес-приложения;
 - Виртуальная реальность;
 - Промышленные решения;
 - Контакт-центры;
 - Ситуационные центры;
 - Разумный город;
 - Информационное моделирование строительного объекта (BIM);
 - Разработка аппаратных решений;
 - Интернет вещей;
 - Умное хранение данных;
 - Системы управления беспилотными аппаратами;
 - Цифровизация документооборота.
- 4. Услуги:
 - Цифровая трансформация;
 - Консалтинг;
 - Услуги сети ЦОД;
 - Облачные вычисления;
 - Управляемые услуги;
 - Разработка ПО;
 - Комплексный сервис и ИТ- аутсорсинг;
 - Финансирование ИТ-проектов;
 - Импортозамещение;
 - ИТ-курсы;
 - ИТ-переводы.

Инженерные системы здания – фундамент, обеспечивающий безопасность, комфортное пребывание и работу в помещениях различного назначения при одновременном снижении затрат на эксплуатацию и энергопотребление. КРОК имеет более чем 20-летний опыт в оснащении инженерными системами крупных офисных зданий, отелей, аэропортов, стадионов и торгово-развлекательных комплексов.

КРОК является ведущим поставщиком решений для интеллектуального

здания и осуществляет проектирование, строительно-монтажные и пусконаладочные работы по следующим инженерным системам здания:

- Автоматизированные системы управления зданием
- Системы вентиляции и кондиционирования
- Системы физической и пожарной безопасности
- Энергоцентры и котельные
- Сервисное обслуживание инженерных систем здания
- Общестроительные работы
- Структурированные кабельные системы
- Системы электроснабжения

Корректная эксплуатация и отсутствие сбоев в работе систем интеллектуального здания делают его эффективным, безопасным и экологичным. КРОК является ведущим поставщиком решений для интеллектуального здания и осуществляет проектирование, строительно-монтажные и пусконаладочные работы.

Благодаря комплексным системам промышленной автоматизации производственные предприятия могут значительно улучшить свои бизнес-показатели и качество принимаемых решений, повысить прозрачность и слаженность технологических процессов. Эффект от автоматизации систем промышленного производства проявляется уже в течение нескольких месяцев, что значительно ускоряет окупаемость инвестиций.

КРОК предлагает своим заказчикам целый спектр универсальных ИТ-услуг и специализированных отраслевых решений, оптимизированных под конкретные задачи промышленных предприятий (рисунок 2.2) [12].



Рисунок 2.2 – Методы ИТ-компании КРОК

По величине, не менее масштабную по оказанию услуг в области различных технологий, можно выделить компанию «Измерение» (г. Екатеринбург). Она имеет филиал в Хакасии (655016, Россия, Республика Хакасия,

г. Абакан, улица Кати Перекрещенко, 6) и успешно ведет свою деятельность с 2009 года. Лаборатория оснащена современным и высокоточным оборудованием, которое в кратчайшие сроки поможет обнаружить все дефекты на производстве. Лаборатория аккредитована по системе ПАО «Газпром» [22].

Специалисты компании могут оперативно и грамотно расшифровать результаты измерений, предложить пути устранения неполадок, провести повторный контроль, полностью ориентируясь на сроки.

Компания выполняет весь спектр работ – диагностирование с применением всех неразрушающих методов контроля, проведение гидравлических и пневматических испытаний, контроль качества сварных и изоляционных работ.

Объектами контроля могут быть:

- объекты котлонадзора;
- системы газоснабжения;
- подъемные сооружения;
- оборудование нефтяной и газовой промышленности;
- оборудование металлургической промышленности;
- оборудование взрывопожароопасных и химически опасных производств;
- здания и сооружения (строительные конструкции);
- горнорудное оборудование.

Компания «Измерение» использует следующие методы неразрушающего контроля (рисунок 2.3).

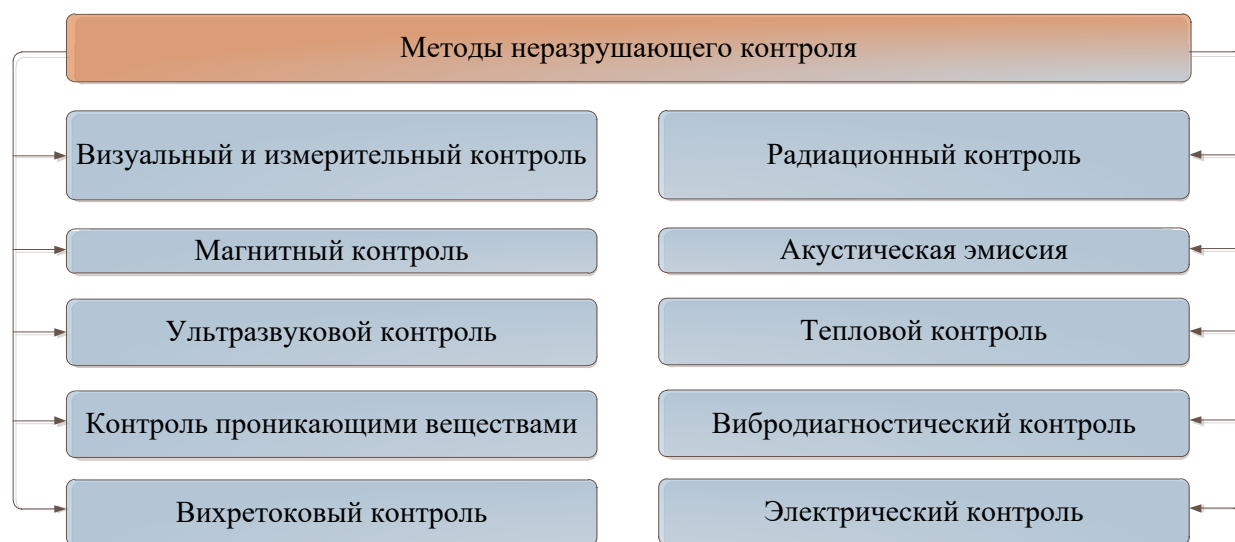


Рисунок 2.3 – Методы неразрушающего контроля компании «Измерение»

Еще одна компания «Практическая механика» за почти 20 лет своей деятельности заняла ведущее место в сфере комплексного обслуживания промышленных предприятий Северо-Запада России. «Практическая Механика» сегодня – это продажа комплектующих и оборудования, технический сервис

промышленных предприятий, инжиниринг, обучение персонала на базе собственного учебного центра [13, 14].

Цель деятельности компании «Практическая механика» – повышение надежности и эксплуатационной готовности промышленного оборудования. Поставка высококачественных комплектующих, своевременное техническое обслуживание оборудования, повышение профессиональных компетенций персонала – три слагаемых оптимизации производственных активов.

Основной задачей работы отдела технического сервиса компании «Практическая Механика» является повышение надежности промышленного оборудования.

Специалисты отдела технического сервиса нашей компании оказывают следующие услуги по обнаружению и устранению дефектов оборудования:

- комплексное обслуживание гидравлических систем;
- шефмонтаж/демонтаж подшипников;
- вибродиагностическое обследование оборудования;
- балансировка роторов в собственных опорах;
- лазерная центровка валов;
- лазерная выверка шкивов;
- диагностика электродвигателей.

Работы по техническому сервису выполняются квалифицированными специалистами при помощи диагностического оборудования ведущих западных компаний – «SKF», «Optibelt», «Fixturlaser», «Baker» и других. Кроме этого, инженеры отдела технического сервиса осуществляют подбор и продажу диагностического оборудования с помощью методов, показанных на рисунке 2.4.

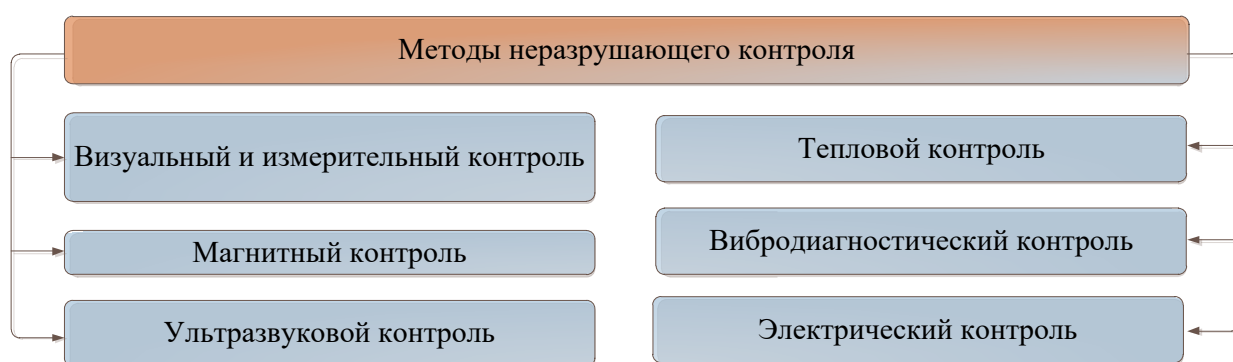


Рисунок 2.4 – Методы неразрушающего контроля компании «Практическая Механика»

Воспользовавшись услугами отдела технического сервиса, клиенты компании «Практическая Механика» приобретают полную информацию о состоянии своего оборудования и подшипниковых узлов, в результате чего получают:

- повышение безопасности труда;

- сокращение времени на проведение ППР за счет применения полученных знаний;
- уменьшение количества часов на внеплановые простои;
- увеличение интервала между ремонтами за счет повышения ресурса подшипниковых узлов;
- сокращение потребления запасных частей;
- сокращение расхода смазочных материалов;
- уменьшение складских запасов;
- сокращение потребления энергии;
- сокращение потребления воды;
- уменьшение транспортных расходов;
- уменьшение затрат на охрану труда;
- сокращение выпуска бракованной продукции.

2.2 Анализ методов контроля и диагностики асинхронных двигателей

По мнению специалистов компании «Практическая Механика», одной из главных составляющих планирования предупредительных ремонтов, а также предупреждения аварийных отказов оборудования является диагностика всех его узлов и компонентов для определения текущего состояния и решения задач по прогнозированию срока службы оборудования.

В основе работы любого промышленного предприятия, его оборудования, лежит преобразование электрической энергии в другой вид энергии. Наибольшее представительство получили различные электродвигатели переменного тока (асинхронные двигатели), с рядом мощностей от долей до десятков тысяч киловатт. От их надежности в первую очередь зависит успешное функционирование всего оборудования предприятия, и как следствие, выпуск продукции.

Многие сотрудники, занимающиеся на своих предприятиях эксплуатацией электрических машин, считают, что контролировать их состояние не обязательно, при этом уделяя большее внимание механическим составляющим оборудования. Однако известно множество примеров, когда несвоевременное техническое обслуживание, или просто отсутствие какого-либо контроля за техническим состоянием электрических машин, приводили не только к выходу их из строя, но и авариям [13].

Согласно европейским исследованиям, выходы из строя электродвигателей приходятся на: статор – до 40%, ротор – до 10%, подшипники – до 45%. В 80% случаев, когда обмотка статора выходит из строя, дефект начинается с межвиткового замыкания и впоследствии развивается до межфазного или замыкания на «землю», что уже приводит к полному выходу из строя машины [14], рисунок 2.5.

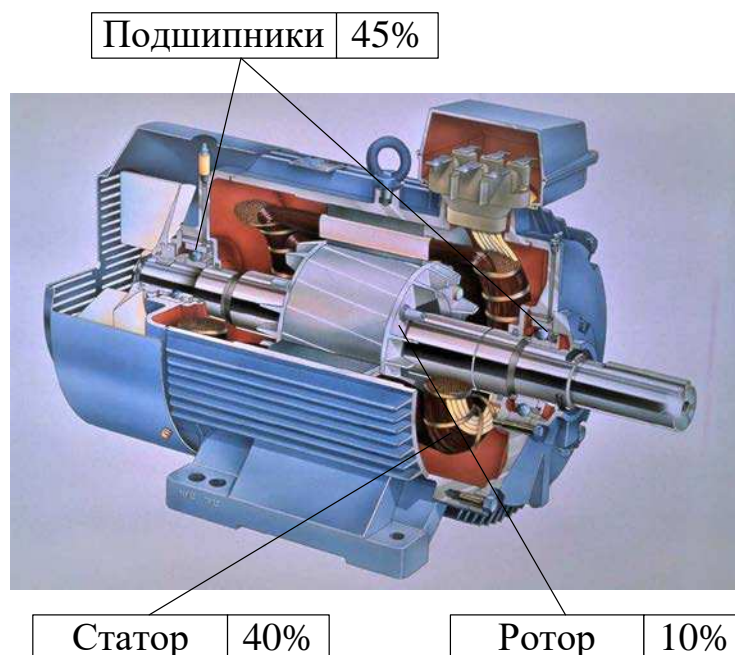


Рисунок 2.5 – Элементы двигателей, которые выходят из строя чаще всего

Известны случаи, когда пробой корпуса работающего оборудования, возникший вследствие повреждения обмоток, приводил к жертвам среди обслуживающего персонала. После «сгорания» обмотки двигатель ремонтировать не рентабельно, так как повреждается и магнитопровод статора, а такой ремонт по стоимости соразмерен с покупкой новой машины.

У самых простых и надежных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором, одновременно и самых распространенных, нередко выходит из строя ротор вследствие повреждения его стержней. Такую неполадку в эксплуатации обнаружить заблаговременно крайне сложно. Этот дефект как и межвитковое замыкание в обмотке, развивается постепенно. Сначала выходит из строя один стержень, что приводит к увеличенной токовой нагрузке на остальные стержни, и, со временем, за ним лавинообразно следуют оставшиеся. Сформулированные дефекты отобразим в наглядном виде на рисунке 2.6.

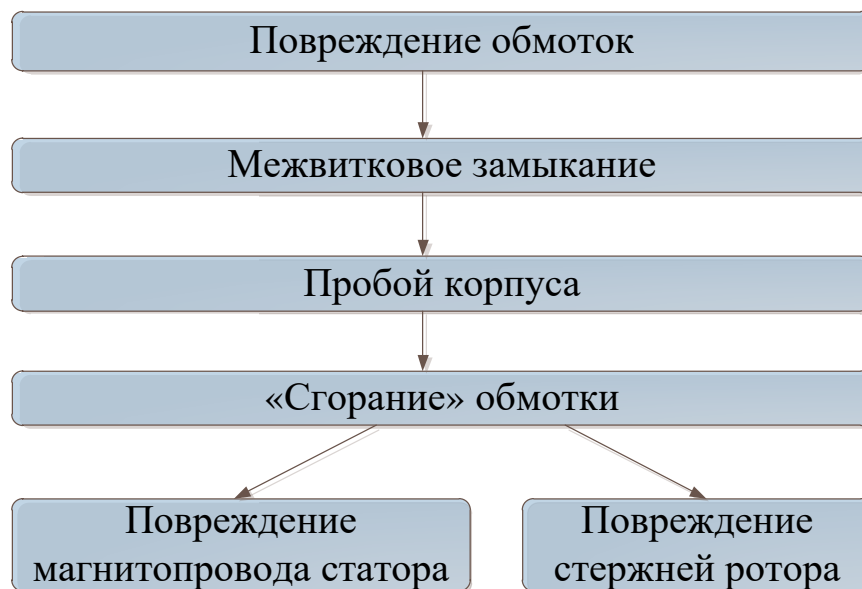


Рисунок 2.6 – Дефекты электродвигателей, выявляемые различными организациями

Оба описанных дефекта могут развиваться на протяжении долгого времени и не влиять на эксплуатацию двигателя до определенной стадии развития. То есть, при обнаружении подобных дефектов на ранней стадии, менять двигатель нецелесообразно. Обнаружив такие дефекты, можно периодически контролировать состояние машины, тем самым прогнозируя срок службы и производить ремонт или замену двигателя во время планового останова, таким образом предотвращая отказ и развитие дефекта до невозможности восстановления работоспособности. Это позволяет сэкономить значительную часть средств предприятия на ремонтах, складских позициях и, главное, на предотвращении аварий и внеплановых остановов.

Недостатки в механическом генетическом материале более распространены, более выражены и часто более очевидны для невооруженного глаза, в то время как электрические проблемы часто не выявляют реальных дефектов или их трудно диагностировать без использования специализированного диагностического оборудования.

Давайте рассмотрим, как осуществляется мониторинг и идентификация асинхронных двигателей в компании «Практика механики», которая, улучшая качество обслуживания, формирует культуру потенциального технического обслуживания на промышленных предприятиях.

Сегодня отдел технического обслуживания компании «Практическая механика» проводит полномасштабное обследование электрических машин с использованием современного диагностического оборудования для контроля состояния обмоток, а также общей производительности и обслуживания машины.

Когнитивная функция фирмы «Практическая механика» подразделяется на условия на два основных этапа - динамическое и динамическое тестирова-

ние. Тяжелые испытания подразумевают всю сложность испытаний и испытаний, направленных на полное понимание состояния электронной обмотки, а также выявление неисправностей поворота, которые трудно обнаружить на ранних стадиях разработки. Это делается с помощью диагностического оборудования SKF Baker, электронного анализатора AWA IV для холмов. С его помощью в кратчайшие сроки проводятся различные тесты и тесты, которые показаны на рисунке 2.7.

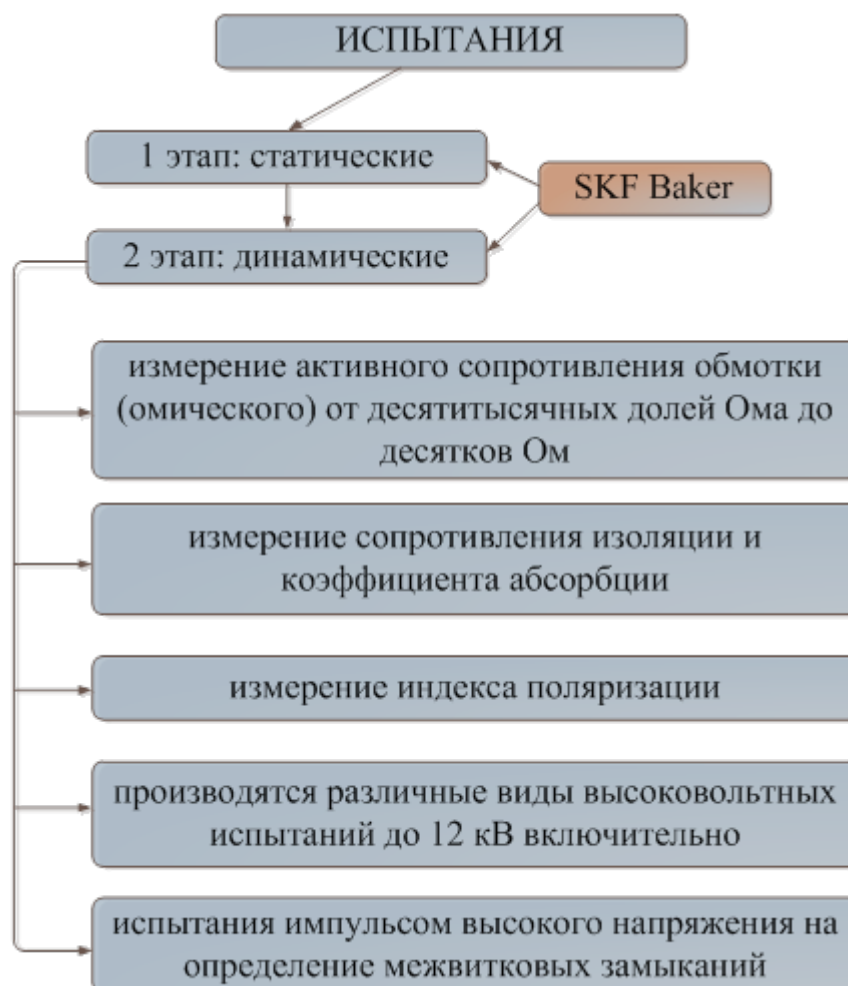


Рисунок 2.7 – Основные испытания и измерения, проводимые с применением диагностического оборудования SKF Baker

SKF Baker - мобильная передвижная лаборатория, так как все тесты выполняются одним устройством. Этот полный цикл испытаний занимает от 10 до 30 минут, при подготовке автомобиля к реализации, не обязательно разделяя схему подключения, а отсоединяя силовой кабель со всех сторон.

В результате доступно множество параметров монтирования, указывающих на его сервис и надежность. Хороший монтаж является основной причиной обеспечения высокой надежности электрической машины. Лучший способ попробовать это - получить высокое напряжение.

Анализируя волну из импульсного эксперимента, ошибки сходимости

определяются до их фактического появления в рабочих характеристиках, что позволяет обнаруживать дефекты в долгосрочной перспективе и, как следствие, прогнозировать остаточный срок службы изоляции. В то же время отрицательный эффект самого испытания сводится к минимуму с помощью уточненного напряжения, а само устройство в процессе испытания контролирует состояние изоляции и снимает испытательное напряжение для любого разрыва, тем самым предотвращая развитие дефектов и предотвращая поломку.

Второй этап диагностики - сила электродиагностики - включает идентификацию электрической машины в режиме низкой нагрузки. Он производится с использованием функции мониторинга SKF Baker Explorer 4000, которая охватывает всю операционную систему любого электронного устройства, показанного на рисунке 2.8.



Рисунок 2.8 – Динамическая электродиагностика помощи многофункционального комплекса для on-line мониторинга SKF Baker Explorer 4000

Для начала процесса диагностики достаточно подключить к токоведущим частям питания электродвигателя переносные токовые клещи и щупы напряжения, причем это можно сделать в щите питания, и создать диагностируемый объект в базе данных прибора. Время проведения одного теста составляет от 10 секунд до нескольких минут.

Использование этого многофункционального комплекса позволяет при-

менять прогрессивный метод диагностики состояния механизмов по анализу спектра потребляемого тока машины.

Общим недостатком метода спектрального анализа тока статора и спектрального анализа модулей векторов тока и напряжения является необходимость учета влияния на электрические параметры привода параметров питающей сети, характера нагрузки, влияния внешних электромагнитных полей, переходных процессов в приводе.

Для достоверного диагностирования состояния электродвигателя необходимо осуществлять обработку осциллограмм статорного тока относительно большой длительности при постоянной частоте и слабо меняющейся нагрузке. Такой метод обладает рядом преимуществ, показанных на рисунке 2.9 [28].

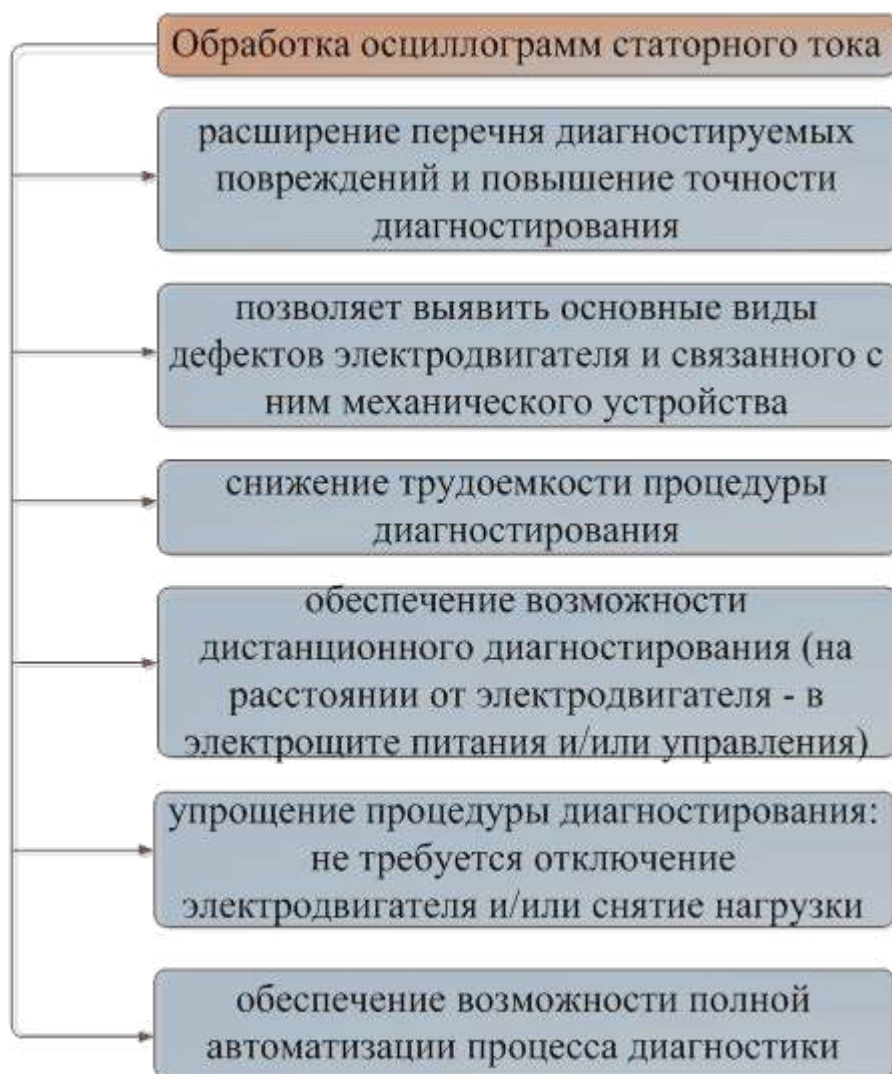


Рисунок 2.9 – Преимущества обработки осциллограмм статорного тока

Динамическое обнаружение также включает дополнительные исследования с использованием других устройств SKF, такие как обнаружение электрооборудования в подшипниках и корпусе машины с использованием устройства диагностики разряда TKED1 и термический анализ блоков и их

коммутационного оборудования. с помощью тепловизионной камеры, которая может составить техническую картину идентифицируемого объекта.

Такое тщательное исследование позволяет критически оценить текущее техническое состояние электрической машины и с постоянным вниманием, снова и снова решать проблему прогнозирования срока службы электрической машины в целом.

На практике были случаи, когда во время статических испытаний ошибки вращения были обнаружены в одиночку с высоким перекрытием, тогда как другие диагностические устройства не могли обнаружить этот дефект на ранних стадиях. Это показывает, что разделение разделения не работает, но есть необходимость, чтобы это произошло в будущем.

Все перечисленные выше виды работ по электродиагностике выполняются инженерами компании «Практическая Механика» на собственном диагностическом оборудовании производства «SKF» (рисунок 2.10).



Рисунок 2.10 – Методы контроля и диагностики, используемые компанией «Практическая Механика»

ИТ-компания КРОК для контроля и диагностики асинхронных двигателей применяет, в основном, с помощью тепловизионного, шумового, вибрационного и электрического контроля и диагностики [12], рисунок 2.11.

Электродвигатели переменного тока с приводимым оборудованием (насос, вентилятор) и электрогенераторы переменного тока с приводным оборудованием (турбина) сегодня проверяются тепловизорами (посмотреть, где греются подшипники), шумомерами, различными визуальными осмотрами (для оценки цвета подтёков), оценкой цвета масла спектрографами, газоанализаторами и так далее. То есть регулярные обходы.



Рисунок 2.11 – Методы контроля и диагностики, используемые IT-компанией КРОК

Возможная, но не единственная альтернатива – виброзамеры: машина обвешивается датчиками со всех сторон, а затем запускается. По паразитным вибрациям можно понять, где и что не так. Это нормальный метод диагностики и мониторинга, позволяющий не только понять статус машины, но и предотвратить аварию. Когда вибрации становятся нетипичными или слишком сильными, двигатель останавливается до того, как пойдёт вразнос.

У виброзамеров есть сложность с установкой датчиков – далеко не всегда это возможно (скорее, наоборот), и есть ещё ряд особенностей диагностики (методы вибродиагностики более приспособлены к диагностике механических повреждений электрической машины и связанного с ней механизма, а электрические повреждения не всегда могут быть своевременно выявлены). Данный измерительный комплекс при всех его достоинствах стоит достаточно дорого.

Фирма использует программно-аппаратный комплекс, который позволяет оценивать микроколебания электромагнитного поля (система автоматизированной интеллектуальной диагностики). Отслеживая различные гармоники поля, можно сделать множество выводов о том, что именно не так в оборудовании и где конкретно проблема. Преимущество в том, что изменения параметров должны быть циклическими и предсказуемыми.

Этот комплекс делает сам двигатель основным датчиком, а дальше снимает с него очень много данных с довольно большим количеством шумов. Затем очищает и восстанавливает данные (самая нетривиальная часть вычислений), профилирует двигатель и с помощью технологии data mining отдаёт результаты оператору.

Для ряда критичных объектов очень важен режим постоянного мониторинга. Система обучается на каждый экземпляр оборудования и строит пороговые значения.

Согласно ГОСТ ISO 20958-2015 [10] определяются и оцениваются дефекты и нарушения, показанные на рисунке 2.12.

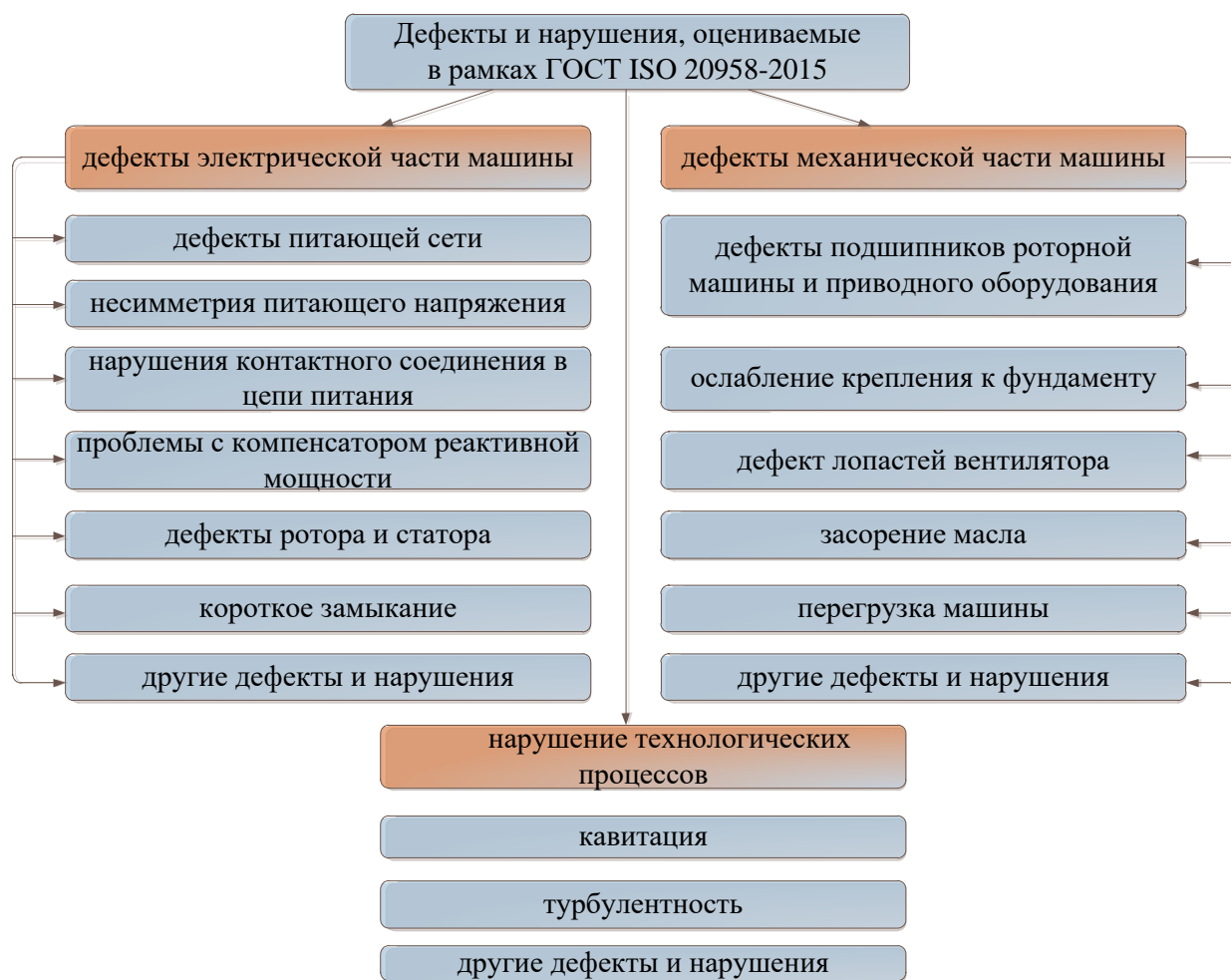


Рисунок 2.12 – Дефекты и нарушения, оцениваемые в рамках ГОСТ ISO 20958-2015

Метод позволяет выявить неисправности электрической и механической частей машины на ранних стадиях, когда их выявление другими методами ещё невозможно. Профилирование позволяет исключить влияние электромагнитной обстановки в месте установки двигателя или вдоль кабельной трассы.

Недостатки методов, основанных на обследовании электромагнитных полей:

- распространены только для высоковольтных машин;
- установка датчиков должна производиться предприятием-изготовителем;
- чувствительность к внешним магнитным полям;
- непригодность применения в нормальных режимах работы;
- требуется специальное испытание.

Система мониторинга «РЕММ» (Rotation Electrical Machine Monitor) предназначена для стационарного контроля параметров состояния турбо и гидрогенераторов, крупных электрических двигателей переменного тока [29]. Все диагностические средства, реализованные в системе, работают в режиме «on-line», т. е. не требуют остановки электрической машины.

Полный набор методов контроля, реализованный в системе «РЕММ», представлен на рисунке 2.13 в виде функциональных блоков. В зависимости от типа, мощности и технологической важности контролируемой электрической машины, набор используемых диагностических методов в системе «РЕММ» может изменяться.

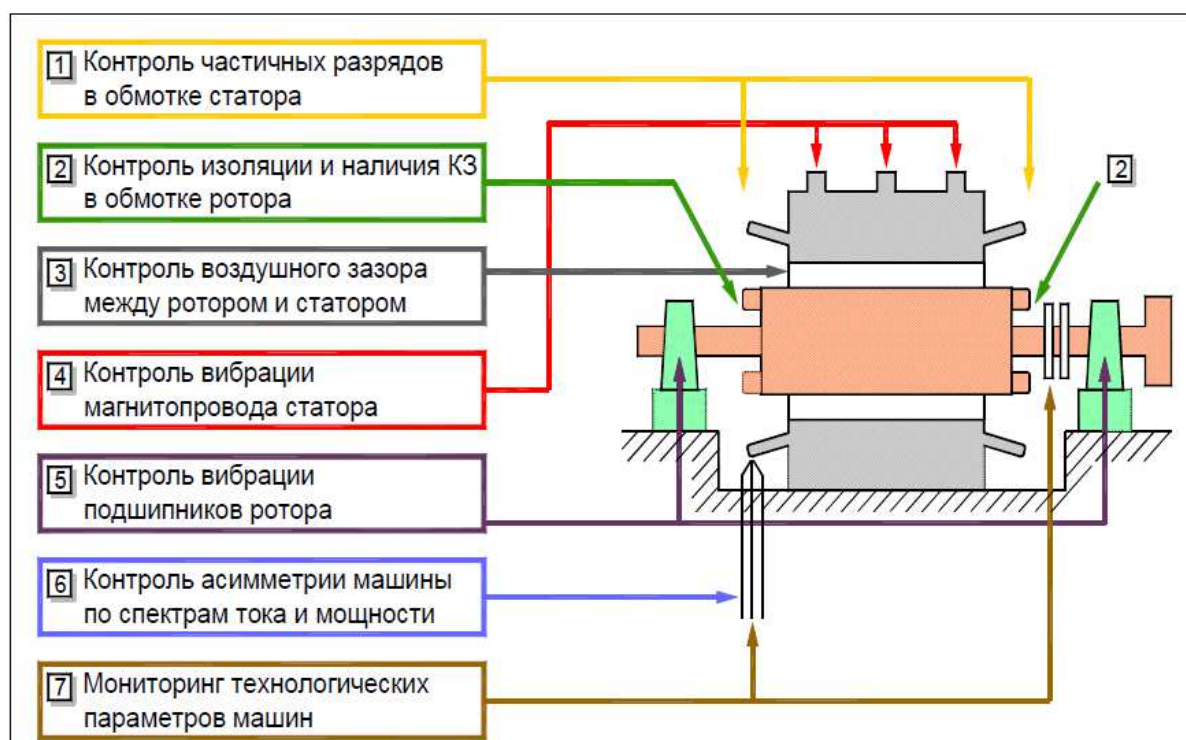


Рисунок 2.13 – Система «РЕММ» - мониторинг и диагностика технического состояния крупных электрических машин

Компания «Измерение» для контроля и диагностики асинхронных двигателей применяет вибродиагностический метод. Это один из самых современных методов неразрушающего контроля. Он дает возможность следить за состоянием оборудования, не прерывая производственный процесс. Вибродиагностический метод контроля базируется на анализе вибрации, которая воз-

никает при работе оборудования. Поскольку любая вибрация – это колебания, соответственно вибрация представляет собой совокупность различных частот, которые можно изучить, узнать их амплитуды и по этим показателям определить, в каком состоянии находится оборудование (рисунок 2.14) [22].



Рисунок 2.14 – Метод, используемый компаниями «Измерение» и «ООО ИСО»

Приборы и оборудование для контроля вибрации (вибродиагностики), применяемые:

- универсальные и специальные высокоточные балансировочные станки и балансировочные комплексы для уравнивания роторов массой от 5 грамм до 90 тонн;
- портативные приборы для измерения и анализа вибрации, балансировки роторов в собственных опорах, диагностики состояния подшипников;
- экспертные системы оценки состояния оборудования;
- стационарные системы непрерывного контроля вибрации и защиты;
- стендовые комплексы диагностики подшипников и электродвигателей;
- анализаторы вибрации;
- виброанализаторы;
- переносные виброметры (измерители вибрации);

- сканирующие виброметры;
- стационарные виброметры;
- модульные виброметры.

Главными недостатками вибродиагностики являются: необходимость использования специальных виброакустических датчиков, сложность их установки и сложность интерпретации результатов. Вибродиагностика позволяет определять дефекты подшипникового узла, эксцентриситета и в меньшей степени – дефекты обмотки статора. При этом анализ отказов электродвигателей показывает, что до 80 % электродвигателей выходят из строя из-за дефектов обмотки статора.

ООО «ИСО» также применяет для контроля и диагностики асинхронных двигателей применяет вибродиагностический метод с использованием виброанализаторов и других подобных приборов. Он описан выше в рамках рассмотрения вибродиагностического метода компании «Измерение».

Проблема диагностики асинхронных электродвигателей заключается в том, чтобы с 2014 года по настоящее время в ООО «ИСО» в г. Саяногорске диагностика состояния технологического оборудования осуществлялась при помощи диагностического комплекса Спектр-07 и прибора CSI 2120 1996 года выпуска, эксплуатация которых выявила массу недостатков, основными из которых являлась низкая надежность и ограниченное использование этих приборов (произведение измерений только общего уровня вибрации без расширенных диапазонов высокочастотных составляющих амплитуд колебаний, а также в отсутствие базы данных прибора). Поэтому далее будут рассмотрены все особенности использования и применения передовой модели виброанализатора CSI 2140, который был предложен к внедрению в организации в ближайшем прошлом и успешно себя проявил при диагностике асинхронных машин.

3 Практическая часть

3.1 Характеристика виброанализатора CSI 2140

Компания «Балтех» – это лидер российского промышленного рынка по производству и поставке систем лазерной центровки валов, балансировочных станков и приборов балансировки, виброметров, стетоскопов и виброанализаторов для измерения вибрации механизмов, тепловизоров и пирометров для энергоаудита, индукционных нагревателей для индуктивного нагрева подшипников, муфт, шкивов, а также диагностика и контроль подшипников с помощью стендов проверки подшипников [25].

Компания «Балтех» разработала концепцию «Надежное оборудование: 2010». Согласно концепции, отдел главного механика и отдел главного энергетика должен иметь центровщик, виброанализатор, тепловизор или пирометр, стетоскоп или виброметр, а также, аппаратуру для анализа масел и смазок, виброметры-балансировщики и балансировочный станок.

ООО «Балтех» производит и поставляет переносные и стационарные комплексы вибродиагностики роторного оборудования (подшипников, редукторов, компрессоров, насосов и т.п.), предназначенные для определения текущего технического состояния и прогноза срока безаварийной эксплуатации (задавая установки и нормы вибрации).

Для механизмов роторного типа (электродвигатели, насосы, вентиляторы, турбины, генераторы и т.д.) широкое распространение во всём мире получили методы контроля, базирующиеся на измерении параметров вибрации. Обусловлено это тем, что вибрация является следствием действия возмущающих сил в самом механизме и соответственно сигнал вибрации несет в себе информацию о состоянии механизма, его кинематических связей и отдельных узлов. При этом теория и практика анализа вибросигналов к настоящему времени столь отработана, что можно получить достоверную информацию практически по любому дефекту монтажа, изготовления или износа и выполнить устранение вибрации.

Используемые при этом технические средства позволяют не только контролировать состояние механизмов, но и обеспечивают решение задач по оперативной наладке в процессе эксплуатации и ремонта, т.е. устранение вибрации. В первую очередь это касается динамической балансировки роторов, контроля качества подшипников и их монтажа [25].

Время часто является критическим фактором при выполнении анализа вибраций оборудования по заданному маршруту. Когда требуется проверять тысячи единиц оборудования – это большая и сложная задача. Возникают сложности на производстве, а именно как равномерно организовать деятельность отдела вибродиагностики (или сервисной компании, например ООО «ИСО») с помощью высокоскоростного 4-х канального виброанализатора CSI 2140 с минимальным штатом специалистов. Помимо обследований по маршрутам

обслуживающий персонал часто выполняет определенные задачи расширенной вибродиагностики, такие как оценка когерентности сигналов, испытания разгон/выбег, модальный анализ, взаимный корреляционный анализ и структурный анализ. Все это делается для определения технического состояния машинного оборудования и выявления развивающихся проблем.

Для анализа вибраций по маршрутам с помощью одно-, двух-, и даже некоторых четырехканальных анализаторов требуется несколько раз помещать датчики на каждом подшипнике. И это только для того, чтобы выполнить измерения по нескольким направлениям. Это объемная работа, особенно если требуется обследовать тысячи единиц оборудования. Все это требует определенного инструмента – а именно такого прибора, который бы облегчил данные задачи.

Одной из новых разработок указанной компании является виброанализатор CSI 2140, который не уступает по техническим характеристикам виброанализаторам BALTECH VP-3470, BALTECH VP-3470 Ex, CSI 2125, CSI 2130 и является их усовершенствованием. Виброанализатор CSI 2140 – это новый прорыв в мировой вибродиагностике промышленного оборудования. Относительное время сбора данных в секундах (на диагностику одного агрегата) – самое низкое для виброанализатора CSI 2140 среди всех указанных анализаторов.

Эффективность и быстрота вибродиагностики:

- позволяет быстрее проходить маршрут с большей результативностью сбора данных;
- обеспечивает простоту динамических испытаний.

Расширенные возможности виброанализатора (в общих чертах):

- функции расширенной диагностики неисправностей позволяют выявлять скрытые проблемы;
- позволяет точно определять внешние источники вибрации;
- позволяет следить за запуском высокоскоростных машин (например, турбин) по траекториям двух подшипников скольжения;
- виброанализатор CSI 2140 способен регистрировать циклы работы машинного оборудования или процессов и представлять данные по четырем каналам в виде временных диаграмм;
- использует модальный анализ ODS для анимационного представления работы оборудования с целью выявления структурных проблем.

Анализатор технического состояния машинного оборудования CSI 2140 упрощает и повышает эффективность сбора и расширенного анализа данных при проведении вибродиагностики и виброконтроля.

Общий вид прибора CSI 2140 и способы фиксации датчиков на электродвигателе показаны на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1 – Общий вид прибора CSI 2140 и способы фиксации датчиков на электродвигателе

Функциональные возможности CSI-2140 следующие.

1. Сбор данных по маршруту: является уникальным, за счет автоматического анализа снятых данных по 12 параметрам (К примеру: Пик-фактор, 1-ая гармоника, 2-ая гармоника, с 3-ей по 7-ую гармоники, высокочастотная область, ОУВ, СКЗ, GMF, BPFO, BPFI, и т.д., с возможностью корректировки под индивидуальные параметры предприятия) с построением тренда развития дефекта как в приборе, так и в персональном программном обеспечении, не считая стандартного сбора данных по временному сигналу, прямому спектру и уникальной технологии Peak Vue.

2. Цветовая сигнализация (построение гистограмм): позволяет диагности мгновенно определить вид дефекта и степень его развития, а также его отклонение от эталонной нормы, не отходя от агрегата. Данный инструмент очень гибкий и его можно легко настроить под индивидуальные задачи для

каждого предприятия, с характерным набором параметров обнаружения и пороговыми значениями (для автоматической диагностики), либо же на месте обработать прямой спектр, временной сигнал или сделать анализ по PeakVue. Имея настроенный набор параметров характерный для каждого оборудования, пропуск зарождения дефекта на самых ранних стадиях просто не возможен.

3. Расширенный вибрационный анализ: очень удобный инструмент в руках специалиста по вибродиагностике. По снятому прямому спектру вибрации не всегда на 100% можно определить тот или иной вид дефекта, для этого необходимо выполнить более глубокий анализ. Например, на спектре проявляется дефект, вызванный расцентровкой агрегата в муфтовом соединении, но говорить со сто процентной вероятностью о данном виде дефекта, опираясь лишь на данные по спектру, является некорректным. Пользуясь вибродиагностическим оборудованием любого другого производителя, Вам пришлось бы останавливать весь агрегат, устанавливать прибор для проверки коллинеарности валов, и только потом делать достоверное заключение о расцентровке. Используя вибродиагностический комплекс CSI 2140 возможно сделать достоверный вывод по дефекту нарушения коллинеарности, не прибегая к использованию дополнительного инструмента (оборудования для центровки), привлечению дополнительных специалистов и тем более к останову агрегата. Система позволяет, используя всего 2 датчика вибрации, подтвердить, либо же опровергнуть данный дефект по взаимным данным (взаимная фаза).

Используя расширенный вибрационный анализ, специалисты предприятия смогут решать следующий спектр задач (рисунок 3.2):

- высокочастотный анализ;
- анализ с высоким разрешением;
- анализ Peak Vue;
- низкочастотный анализ SST;
- определение частоты вращения;
- определение частоты вращения лазером;
- ударные испытания на выключенном оборудовании (определение резонансной частоты);
- ударные испытания на работающем оборудовании (определение резонансной частоты);
- удержание пика на выбеге;
- пик и фаза на выбеге;
- испытание стержней ротора;
- порядковый анализ;
- синхронный анализ;
- взаимная амплитуда/фаза.

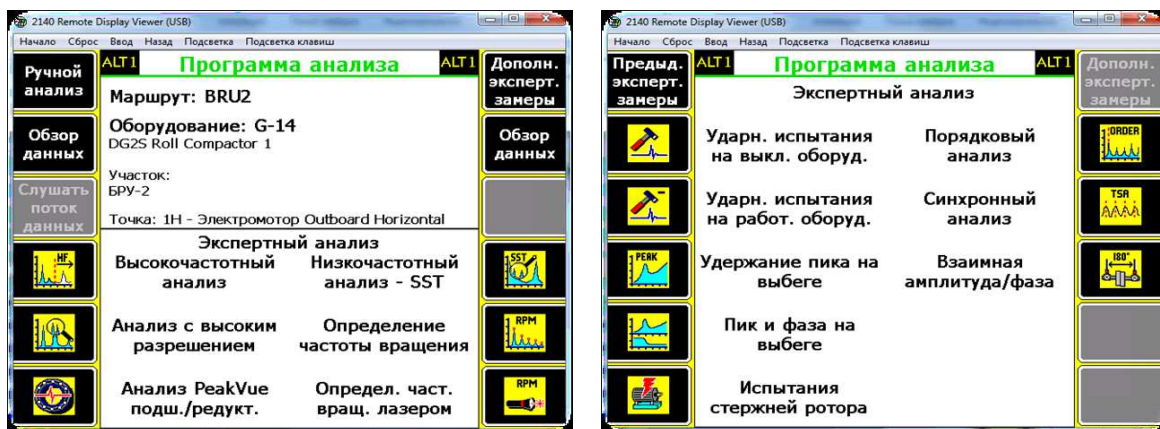


Рисунок 3.2 – Расширенный вибрационный анализ в программе анализа прибора CSI 2140

4. Взаимный (кросс-канальный) анализ (по 4 каналам параллельно): используя четырехканальную реализацию вы без труда сможете решить такие задачи как:

- подтверждении расцентровки;
- определение ослаблений, трещин и слабости конструкций;
- нахождение резонансов машин;
- определение когерентности (выявление причин вибрации или источников вибрации).

Определение когерентности - выявление причин вибрации или источников вибрации-является очень актуальным для предприятий целлюлозно-бумажной промышленности. БДМ имеют связку из большого количества валков, которые в рабочем состоянии создают общий шум, и зачастую дефект, возникший на одном из узлов, начинает передавать вибрацию на соседние. Функция определения когерентности позволяет достоверно определить источник вибрации и причину ее возникновения.

Скорость сбора данных. Сравнивая CSI 2140 с системами других производителей, скорость съема будет превосходить в несколько раз. Например, на съеме вибрационных данных по маршруту на обычном насосе используя CSI 2140 затраты по времени составляют от 1 до 2-х минут, где другие системы тратят от 8 до 20, а некоторые и большее количество времени.

При диагностике тихоходных механизмов CSI 2140 тратит минимальное количество времени. Так, к примеру, на диагностику оборудования со скоростью вращения порядка 60 об/мин, по 10 опорам с которых необходимо снимать вибрационные данные система затратит порядка 20 минут, в то время как любые аналогичные приборы, имеющиеся на рынке от 3-х часов и более. Учитывая повышенную влажность, окружающую температуру и шум на оборудовании, работы по съему данных вибрации должны осуществляться в максимально сжатые сроки.

Для объективной оценки работы машины, специалисту по вибродиагностике требуется производить замер в трех направлениях (горизонтальное, вер-

тикальное, осевое) на каждой опоре. CSI 2140 применяет уникальный трехосевой датчик вибрации, позволяющий с одного направления (горизонтальное), одновременно снять данные сразу с трех направлений. Скорость съема данных при этом вырастает в 3 раза.

6. Диагностика подшипников скольжения может производиться сразу по нескольким (четырем) каналам (рисунок 3.3).

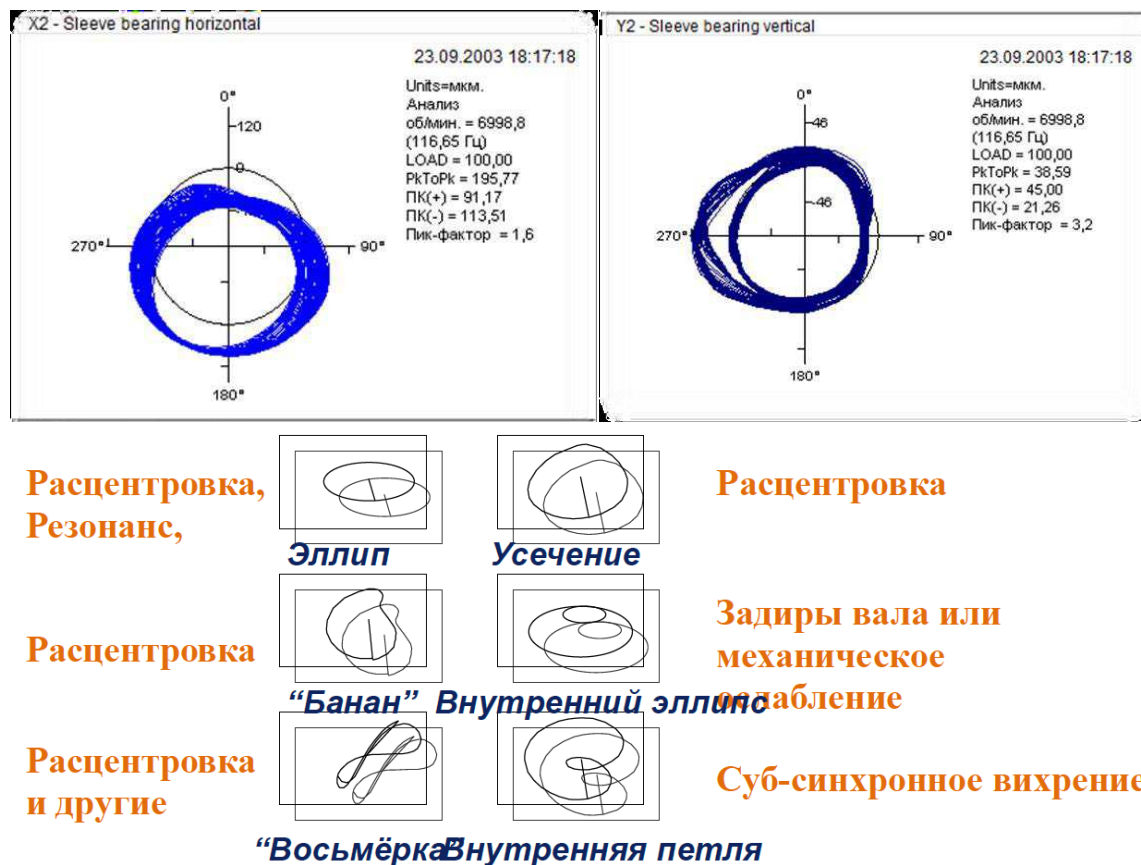


Рисунок 3.3 – Диагностика подшипников скольжения

7. Диагностика от 1 оборота в минуту: единственный в мире прибор, позволяющий работать с тихоходным оборудованием, обнаруживая со 100% вероятностью дефекты оборудования на самых ранних стадиях его развития, используя запатентованную технологию SST (Slow Speed Technology). В практике нашей компании, при демонстрации оборудования на предприятиях за последние только 2 года были обнаружены дефекты на агрегатах со скоростями вращения 17 об/мин и 14 об/мин.

8. Диагностика дефектов на ранней стадии развития: CSI 2140 в отличие от всех приборов, имеющихся на производственном рынке мира, работающих по огибающей, имеет собственную запатентованную технологию PeakVue, использующую цифровые технологии для детектирования волн механического напряжения - наиболее ранний сигнал о возникновении дефектов подшипников и зубчатых передач. PeakVue позволяет максимально точно определить реальную величину пика, отсеивая при этом сторонний шум зубчатых пере-

дач, отдельно стоящих соседних агрегатов и механизмов.

На рисунке 3.4 представлено сравнение огибающей и PeakVue снятой с одной точки в одно и то же время одним прибором. Синий спектр (более темный и проходящий сверху) – PeakVue, Зеленый (более светлый снизу) – огибающая. Скорость работы агрегата 14,26 об/мин.

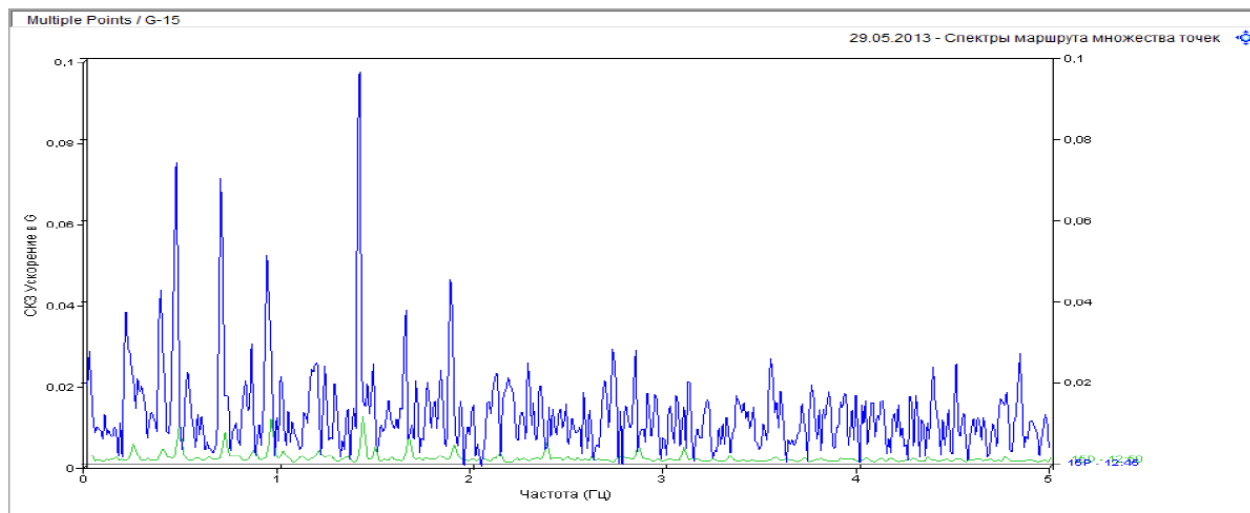


Рисунок 3.4 – Сравнение огибающей и PeakVue снятой с одной точки в одно и то же время одним прибором

9. Диагностика зубчатых зацеплений. Большинство анализаторов, имеющих на рынке, либо не могут вовсе производить диагностику зубчатых передач, либо же дают не полноценный анализ, ограничиваясь лишь частотой, на которой проявляется дефект. CSI 2140 позволяет снять сигнал с наиболее высоким разрешением, позволяющим определить ярко выраженный дефект частоты зубозацепления, с возможностью визуализации при помощи ПО AMS MNM. Например, по данным замеров в круговом представлении можно насчитать 7 ярко выраженных пиков. Разборка механизма подтвердила 7 поврежденных зубьев (рисунок 3.5).

10. Диагностика электродвигателей (рисунок 3.6):

Функция Motor view:

- производится с помощью запатентованных датчиков (кольца магнитного потока) или токосъемных клещей;
- трендовые графики;
- частота отказов;
- средства построения графиков и анализа диагностики двигателей и анализа;
- выявление отказов, связанных с ротором;
- обнаружение поврежденных пластин ротора;
- определение соединений с высоким сопротивлением;
- обнаружение пустот в отливке ротора и трещин в концевых кольцах в

асинхронных двигателях;

- анализ двигателей постоянного тока;
- трендовые графики температуры поверхности двигателей;
- выявление электрических проблем в роторах, статорах.

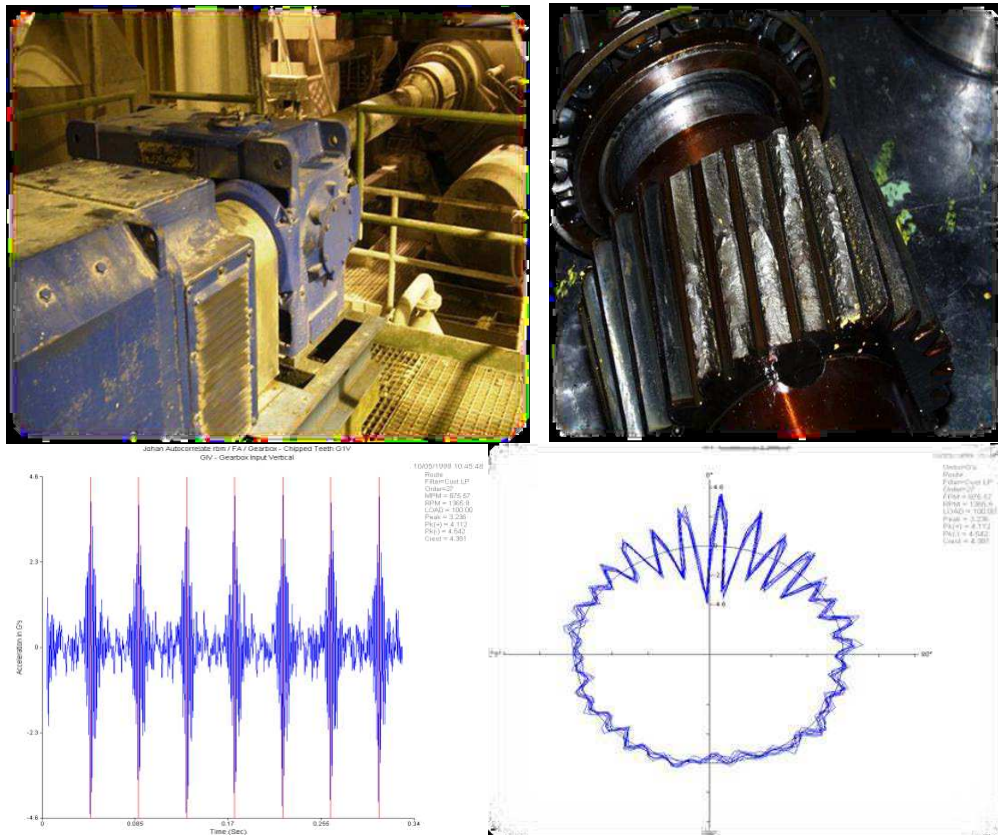


Рисунок 3.5 – Диагностика зубчатых зацеплений



Рисунок 3.6 – Диагностика электродвигателей

11. Программное обеспечение AMS VibView позволяет производить анализ подшипника в целом (три направления), комбинирование графиков, наложение частот дефектов, формировать список пиков, наложение спектров для сравнения и др. (рисунок 3.7).

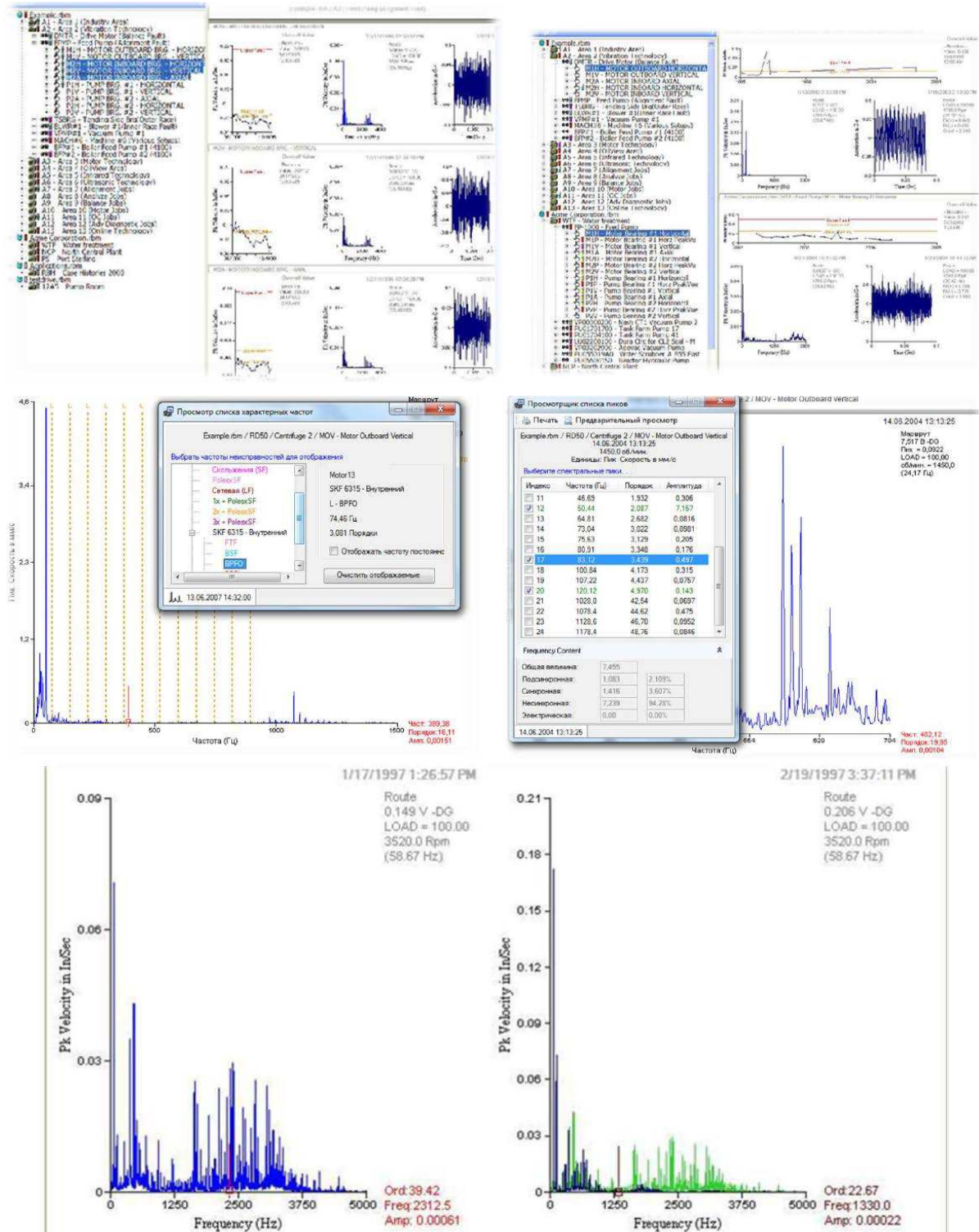


Рисунок 3.7 – Возможности программного обеспечения AMS VibView

Программное обеспечение AMS VibView также содержит:

- отчеты по исключениям;
- автоматическая диагностика;
- тренды по всем измерениям (тренд по дефекту дисбаланса, тренд по дефекту расцентровка;
- тренд по дефекту ослабления, тренд по дефекту смазки и т.д. (12 параметров));
- возможность сетевой реализации программы;
- создание базы данных оборудования предприятия;
- база из 88 734 подшипников;
- инструмент по созданию агрегатов;
- максимально удобно адаптированная работа с маршрутами
- другое.

Технические характеристики виброанализатора CSI 2140 представлены в Приложении Б.

3.2 Экономический эффект от внедрения прибора контроля и диагностики асинхронных двигателей

В настоящее время накоплен обширный статистический материал, подтверждающий высокую экономическую эффективность практического внедрения методов и средств вибрационной диагностики, в том числе и на предприятиях металлургии. Так, по данным американского исследовательского центра ARC Advisory Group, 1 час незапланированного простоя обходится для металлургического предприятия в среднем в 1,2 млн. рублей. Нетрудно посчитать, что предотвращение только одного часа простоя позволит полностью окупить затраты на приобретение двух-трех комплектов переносной виброизмерительной аппаратуры.

По данным службы надежности одного из отечественных металлургических комбинатов, внедрение методов и средств вибрационной диагностики на блоках станинных роликов позволило полностью исключить их аварийные выходы из строя и снизить общее количество ремонтов на 20%. Опыт отделов технической диагностики показывает, что при регулярном использовании современных методов вибрационного контроля удастся сократить затраты на ремонты на 10-30% и снизить аварийность на 50-90%.

Другой пример успешного внедрения вибрационной диагностики - организация входного контроля подшипников качения. Подобное мероприятие позволяет увеличить межремонтный интервал оборудования на 10 – 12 % и продлить срок службы подшипников в 2-3 раза, что приводит к сокращению затрат на обслуживание на 5 - 7 %.

Многочисленные исследования с убедительностью показали эффективность использования средств вибрационной наладки для сокращения потреб-

ляемой электроэнергии. Так, качественная центровка четырех опорного агрегата позволяет в среднем снизить потребляемую мощность от 1 до 3% во время работы и от 5 до 12 % в режиме холостого хода в зависимости от конструкции агрегата и номинальной мощности привода [26].

К прямой экономии можно отнести снижение затрат на ремонт оборудования, увеличение реального межремонтного периода за счет исключения необоснованных плановых ремонтов (по статистике необоснованные ремонты сокращают реальный межремонтный период на 15 -30 %).

Косвенная экономия средств, складывается за счет снижения расходов, несвязанных напрямую с производственными затратами. Это потери, возникшие в результате внеплановых простоев оборудования, выпуска брака, а также затраты на ликвидацию аварий. По ряду объективных причин доступ, к статистической информации, характеризующей косвенную экономию, существенно затруднен. Однако по сведениям источников, данные затраты могут достигать 6% от годового объема производства предприятия [34].

Представленный выше статистический материал наглядно демонстрирует высокую эффективность практического внедрения ресурсосберегающих технологий на базе методов и средств вибрационной диагностики.

Другой практический аспект, во многом определяющий успех внедрения технологий вибрационной диагностики в рамках описанного комплексного подхода, – квалифицированный выбор измерительных средств для контроля состояния оборудования во время его эксплуатации. Одним из основных критериев оценки измерительных средств является максимальное соответствие их технических характеристик и функциональных возможностей решаемым задачам с учетом специфики эксплуатации отдельных видов оборудования.

Для ответственного оборудования, дефекты которого развиваются достаточно медленно, эффективно использование переносных многоканальных исследовательских комплексов, более простое оборудование может контролироваться при помощи виброанализаторов [26].

На рисунке 3.8 представлена диаграмма, иллюстрирующая выбор оптимального технического решения для контроля состояния оборудования различных групп. Она показывает, как соотносится порядок затрат со временем выхода из строя роторного оборудования, к которому относятся и асинхронные электродвигатели.

Согласно техническому предложению от ООО «Балтех» для ООО «ИСО» компания готова поставить виброанализатор CSI 2140 для диагностики асинхронных двигателей. Его функциональные возможности и технические характеристики были описаны выше.

С 2014 года по настоящее время в ООО «ИСО» в г. Саяногорске диагностика состояния технологического оборудования осуществляется при помощи диагностического комплекса Спектр-07 инв.№ 140014116.



Рисунок 3.8 – Диаграмма выбора оптимального технического решения для контроля различных групп роторного оборудования

При очередной поверке комплекса в специализированном центре г. Новосибирска выявлен дефект прибора – нет измерения сигналов. Эксплуатация прибора далее была невозможна.

В распоряжении группы диагностики ОУТОиРТО ПТД имеется виброанализатор CS1 2120 1996 года выпуска. На время отсутствия диагностического комплекса Спектр-07 возможно ограниченное использование данного прибора. В данном приборе на сегодняшний день имеется возможность производить измерения только общего уровня вибрации без расширенных диапазонов высокочастотных составляющих амплитуд колебаний. Данной функцией обладают широко распространенные виброручки. Ограниченное использование данного прибора обусловлено тем, что за долгие годы эксплуатации основные функции отключились, а также отсутствует программное обеспечение для обработки полученных значений виброанализа программное обеспечение хранится на магнитных дисках 3,5", которые пришли в негодность ещё в 2010 году).

Вибродиагностический комплекс Спектр-07 введён в эксплуатацию 17.06.2014 года. При проведении измерений с самого начала прибор выдавал сомнительные данные по высокоточным измерениям. Неоднократно проводились попытки настроить прибор на необходимые параметры работы. В итоге производитель неофициально признал ограниченность применения данного прибора. 04 сентября 2014 года на оборудовании был зафиксирован отказ в виде отсутствия измерений колебаний, о чём в тот же день был составлен акт, и комплекс был отправлен на гарантийный ремонт. После гарантийного ремонта показания прибора в некоторых случаях приблизились к истинным значениям, но ограниченность применения сохранилась.

В октябре 2015 года прибор снова был использован по причине отправки на поверку других приборов. Прибор выдавал данные, не сопоставимые с действительным техническим состоянием оборудования. Оценку технического состояния оборудования произвести было невозможно. По приходу из поверки приборов было проведено сравнение показаний, из которых стало ясно, что прибор выдаёт ошибочные данные. После переговоров с производителем, далее было произведено гарантийное вмешательство в прибор на удалённом доступе, взята база данных измерений и выдано решение о том, что прибор измерения производит верно, но на оборудовании, диагностируемом ООО «ИСО» либо слишком много лишних помех, либо слишком низкий уровень вибраций. После данного вердикта прибор ещё раз был подвергнут сравнению по показаниям с другими приборами, включая вновь пришедший прибор BALTECH VP-3450 (метод ударных импульсов). Результаты не изменились от первоначального сравнения – прибор показывал противоположные данные. При наработке прибора в 51 час (фиксируется в программе прибора) эксплуатация прекращена. Сравнение данных поставщика и заключение диагностического исследования, по спектру огибающей переднего подшипника асинхронного электродвигателя главного центробежного вентилятора показало, что приборы BALTECH VP-3450 и CSI 2120 выявили недопустимость эксплуатации агрегата ввиду того, что подшипник во-вот выйдет из строя по сравнению с противоположными показаниями прибора Спектр-07. Другое испытание на подобном агрегате показало, что прибор Спектр-07 дал результат такой, что подшипник заклинен, однако как показал прибор BALTECH VP-3450 – подшипник находится в хорошем состоянии. При этом замеры осуществлялись в трех условных точках: точка А и точка В находились друг от друга на расстоянии 40 мм, а точка С – в противоположном диаметральной положении.

В распоряжении филиала остались приборы, выполняющие измерение лишь общего уровня вибрации, по которым определить состояние развивающихся дефектов невозможно. Определяется лишь уже вышедший из строя механизм, который работает в предельном состоянии. Потеря большинства баз данных прибора CSI 2120 1996 года выпуска привела к невозможности его использования.

В настоящее время основное технологическое оборудование АО «РУСАЛ Саяногорск» обслуживается ООО «ИСО» по фактическому техническому состоянию, определяемому диагностическими мероприятиями. Отсутствие диагностических мероприятий в достаточном диапазоне приведет к смене стратегии обслуживания на обслуживание по календарному плану ППР, что приведёт к росту ремонтного бюджета из-за выполнения ремонта узлов и агрегатов, ресурс которых позволяет продолжать работу оборудования без нарушения своих эксплуатационных свойств.

Приобретение виброанализатора CSI2140 позволит:

- 1) Организовать 2-й уровень диагностики в филиале.
- 2) Осуществлять контроль состояния всей цепочки агрегатов, начиная от

электродвигателя и заканчивая опорами технологического оборудования. Позволяет в сутки производить измерения по индивидуальным маршрутам до 1000 единиц оборудования. Программное обеспечение позволяет легко и чётко анализировать данные. К анализу подбирается только то оборудование, которое имеет положительную динамику в показаниях.

3) Повысить надёжность оборудования за счёт преждевременного обнаружения развивающихся дефектов.

4) Снизить затраты на ремонтно-восстановительные операции при останковке крупных поломок за счёт преждевременного ремонта.

В 2016 году ООО «ИСО» приобретен и введен в эксплуатацию виброанализатор CSI 2140. За время эксплуатации прибора по настоящее время нареканий по техническому состоянию, внешнему виду, интерфейсу, исполнению программных продуктов, выдаваемым заключениям не имеется.

Прибор на сегодняшний день является самым функциональным и информативным анализатором в мире. Быстрый, простой в использовании, обладает высокой степенью точности. Позволяет проводить многоступенчатую диагностику оборудования по разным уровням исследования. Измерения выполняются одновременно по четырём каналам, что обеспечивает возможность диагностики до 1000 единиц оборудования в один маршрут.

Также включает в себя дополнительные возможности по балансировке роторных машин, диагностике электродвигателей, модальному анализу, снятию орбит, определение резонансов и когерентности. Позволяет обеспечить углубленную диагностику оборудования металлургической отрасли по второму уровню для чёткого выявления и определения характера зарождающихся дефектов, а также с большой долей вероятности дать прогнозное заключение об остаточном ресурсе узлов.

Прибор CSI 2140 хорошо зарекомендовал себя в повышенных магнитных полях, условиях запылённости, условиях отрицательных температур, что важно для регионов Сибири.

Суммарная экономическая эффективность внедрения методов и средств вибрационной диагностики в каждом отдельном случае может быть рассчитана как сумма эффективности отдельных составляющих по следующей формуле [27]:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{рем}} + \mathcal{E}_{\text{авар}} + \mathcal{E}_{\text{внепл}}, \quad (3.1)$$

где \mathcal{E} – суммарная экономическая эффективность;

$\mathcal{E}_{\text{рем}}$ – эффективность за счет сокращения расходов на текущие ремонты, путем оптимизации объемов ремонтных воздействий;

$\mathcal{E}_{\text{авар}}$ – эффект от сокращения затрат на внеплановые ремонты и устранение последствий аварий;

$\mathcal{E}_{\text{внепл}}$ – эффект от исключения внеплановых простоев.

Каждое из слагаемых может быть представлено в виде экономии расхо-

дов. Например, экономия расходов на ремонт ($\mathcal{E}_{\text{рем}}$) может быть представлена как разность между затратами на ремонты до ($Z_{\text{п1}}$) и после ($Z_{\text{п2}}$) внедрения методов и средств вибрационной диагностики и рассчитана по следующей формуле [26]:

$$\mathcal{E}_{\text{рем}} = Z_{\text{п1}} - Z_{\text{п2}}, \quad (3.2)$$

где $Z_{\text{п1}}$ и $Z_{\text{п2}}$ вычисляются по следующим формулам:

$$Z_{\text{п1}} = H \cdot (C_{\text{кр1}} \cdot K_{\text{кр1}} + C_{\text{ср1}} \cdot K_{\text{ср1}} + C_{\text{тр1}} \cdot K_{\text{тр1}}) \quad (3.3)$$

$$Z_{\text{п2}} = H \cdot (C_{\text{кр2}} \cdot K_{\text{кр2}} + C_{\text{ср2}} \cdot K_{\text{ср2}} + C_{\text{тр2}} \cdot K_{\text{тр2}}) \quad (3.4)$$

где H – число диагностируемых агрегатов, $C_{\text{кр1,2}}$ – стоимость капитального ремонта до и после внедрения, $K_{\text{кр1,2}}$ – удельное число капитальных ремонтов, $C_{\text{ср1,2}}$ – стоимость среднего ремонта до и после внедрения, $K_{\text{ср1,2}}$ – удельное число средних ремонтов, $C_{\text{тр1,2}}$ – стоимость текущих ремонтов до и после внедрения, $K_{\text{тр1,2}}$ – удельное число текущих ремонтов.

Рассмотрим эффективность применения вибромониторинга на примере главного центробежного вентилятора с асинхронным двигателем типа АКН2-18-43-12УХЛ, установленного на промышленной площадке одного из корпусов электролиза РУСАЛа.

Стоимость простоя оборудования из-за аварийного останова высока и составляет по оценкам экспертов ООО «ИСО» приблизительно 700 тыс.руб./час.

Время неподготовленного ремонта на 250% больше нормального времени ремонта, соответственно трудозатраты в 2,5 раза выше, простой оборудования также в 2,5 раза выше. При условии, что запланированный ремонт составит 1 смену – 8 часов для бригады из 5 человек, то из-за увеличения времени простоя потери составят на 8400 тыс.руб. больше и потери по стоимости трудозатрат (стоимость чел/ч – 350 руб., и вместо 14 тыс.руб. получаем 35 тыс.руб.) составят 21 тыс.руб.

Хранение полного набора запасных комплектующих к оборудованию на складе (заморозка денежных средств, потеря приблизительно 280 тыс.руб./год).

Замена заведомо исправных деталей и узлов составляет для данного агрегата от 490 до 840 тыс.руб. в год.

Сделаем следующие обозначения:

- общие потери - Q
- простой оборудования - X
- трудозатраты – Y
- количество членов ремонтной бригады – A
- стоимость чел/ч - C
- хранение запчастей - P

– замена исправных деталей – Z

– время – t

Формула для убытков от простоя оборудования в денежном выражении:

$$Q = (X \cdot t \cdot 2,5 - X \cdot t) + (Y \cdot t \cdot 2,5 \cdot A - Y \cdot t \cdot A) + P + Z, \quad (3.5)$$

При этом:

t = 8 часов;

Y = 0,350 тыс.руб./ч;

A = 5 человек;

P = 280 тыс.руб., Z = 630 тыс.руб., X = 700 тыс.руб.,

2,5 – коэффициент, учитывающий увеличение простоя (по соображениям выше).

Убытки от простоя оборудования в денежном выражении при отсутствии своевременной вибродиагностики агрегата с асинхронным электродвигателем:

$$Q = (700 \cdot 8 \cdot 2,5 - 700 \cdot 8) + (0,35 \cdot 8 \cdot 2,5 \cdot 5 - 0,35 \cdot 8 \cdot 5) + 280 + 630 = 9331 \text{ тыс./год.}$$

Экономия средств от применения средств вибродиагностики на данном агрегате с учетом того, что за год происходило не более одного внепланового останова, составляет 9331 тыс.руб.

Если взять такие обслуживаемые агрегаты по всем корпусам РУСАЛа, то экономический эффект получим еще больше.

Срок окупаемости мероприятия при внедрении виброанализатора CSI 2140 стоимостью 2 млн.руб. составит:

$$T_{\text{ок}} = 2000/9331 = 0,214 \text{ года или примерно } 2,5 \text{ месяца.}$$

По результатам расчетов целесообразна практическая реализация перехода от планово-профилактического обслуживания к обслуживанию по фактическому состоянию.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения ВКР в рамках выполнения задач даны основные понятия и положения диагностики асинхронных электродвигателей, способы совершенствования системы оценки технического состояния, статистические данные, концепция и результаты диагностики асинхронных двигателей.

Перспективные методы, рекомендованные к использованию в данной работе, удовлетворяют всем современным требованиям. Внедрение вибромониторинга и виброанализа оборудования на предприятии позволит исключить внеплановые остановки, сократить время ремонтов, заменить при ремонте оборудования только заведомо неисправных комплектующих, обеспечить минимальный запас комплектующих на складе, предотвратить повторное появление выявленных неисправностей. Использование этих методов позволяет оперативно принимать решения по устранению неисправностей, что приводит к уменьшению затрат на устранение неисправностей асинхронных электродвигателей.

С помощью указанных методов ведущие компании в области энергосервиса, такие как «Практическая Механика», IT-компания КРОК, компания «Измерение», ООО «ИСО» и другие используют в своей деятельности усовершенствованные анализаторы обмоток электрических машин, оборудование тепловизионного, шумового, вибрационного и электрического контроля и диагностики. Для эффективного и своевременного обслуживания и ремонта оборудования целесообразно использовать лучшее программное обеспечение в области управления проектами и собственные методологии управления проектами, основанная на мировом опыте и международных стандартах.

Проведенное исследование имеет практическую значимость. Экономический эффект от внедрения виброанализатора CSI-2140, позволяющего извлечь максимум информации из тестируемого асинхронного электродвигателя, для одного только агрегата составляет более 9 млн. руб. Эффект показывает, что выгоднее предотвратить возникновение дефектов и осуществлять профилактику асинхронных электродвигателей, чем потом в дальнейшем их ремонтировать или оплачивать простои, что может быть связано с серьезными финансовыми и трудовыми затратами предприятия. Эти практические рекомендации могут быть применены в различных электросетевых компаниях и энергосервисных организациях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Барков, А.В. Вибрационная диагностика машин и оборудования. Анализ вибрации: учебное пособие / А.В. Барков, Н.А. Баркова. – СПб.: Изд. центр СПбГМТУ, 2014. – 156 с.
2. Бахарев, А.В. Анализ методик оценки технического состояния электродвигателя / А.В. Бахарев, А.Д. Умурзакова // III - Всероссийская научно-практическая конференция «Энергетика и энергосбережение: теория и практика», 13-15 декабря 2017 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/energ/2017/energ/pages/Articles/402.pdf> (дата обращения 10.04.2020).
3. Бобров, В.В. Оценка технического состояния асинхронных двигателей методом вихретокового контроля / В.В. Бобров // Материалы конференции «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития». – 2012.
4. Бобров, В.В. Оценка эффективности основных методов диагностики асинхронных двигателей / В.В. Бобров // Ползуновский Вестник. – 2012. – № 3/1. – С. 198-203 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://journal.altstu.ru/media/f/old2/pv2012_03_1/pdf/198bobrov.pdf (дата обращения 10.04.2020).
5. Браташ, А.В. Анализ методов вибродиагностики асинхронных двигателей / А.В. Браташ, А.П. Калинов // Вестник КДПУ. – Кременчук: КДПУ, 2016. – Вып. 4.
6. Бугеря, Т.И. Анализ способов диагностики асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://masters.donntu.org/2017/etf/bugeria/diss/index.htm> (дата обращения 10.04.2020).
7. Вейнреб, К. Диагностика неисправностей ротора асинхронного двигателя методом спектрального анализа токов статора: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: спец. 05.09.01 / К. Вейнреб. – Москва, 2012. – 44 с.
8. Глазырина, Т. А. Совершенствование методов диагностики асинхронных двигателей на основе анализа потребляемых токов : диссертация ... кандидата технических наук : 05.14.02 / Глазырина Татьяна Анатольевна; [Место защиты: Нац. исслед. Том. политехн. ун-т]. - Томск, 2012. - 122 с.
9. ГОСТ IEC/TS 60034-24-2015. Машины электрические вращающиеся. Часть 24. Онлайн-обнаружение и диагностика потенциальных отказов активных деталей вращающихся электромашин и деталей с подшипниковым током. Руководство по применению. – М.: Стандартинформ, 2017. – 16 с.
10. ГОСТ ISO 20958-2015 Контроль состояния и диагностика машин. Сигнатурный анализ электрических сигналов трехфазного асинхронного двигателя [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200133099> (дата обращения 10.04.2020).

11. ГОСТ Р ИСО 13373-1-2009. Контроль состояния и диагностика машин. Вибрационный контроль состояния машин. Часть 1. Общие методы. – М.: Стандартиформ, 2010. – 42 с.

12. Диагностика промышленных электродвигателей и генераторов по спектру потребляемого тока и предотвращение аварий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/croc/blog/343000/> (дата обращения 10.04.2020).

13. Диагностика электродвигателей. Компания «Практическая Механика» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://prmech.ru/company/press/20141013/> (дата обращения 10.04.2020).

14. Инженерный альманах «Практическая механика» №7, октябрь 2014. Спецвыпуск: Диагностика электродвигателей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://prmech.ru/pub/company/press/20141013-01.pdf> (дата обращения 10.04.2020).

15. Королев, Н. А. Научный доклад «Повышение энергоэффективности и работоспособности электротехнических комплексов насосных установок с асинхронным электроприводом средствами диагностики (презентация) / Н. А. Королев // Специальность 05.09.03 Электротехнические комплексы и системы. – Санкт-Петербург, 2018 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://spmi.ru/sites/default/files/imci_images/aspirant/portfolio/4%20year/Королев_Научный%20доклад1.pdf (дата обращения 10.04.2020).

16. Круглова, Т.Н. Комплексная диагностика мощных электродвигателей / Т.Н. Круглова, И.В. Ярошенко, Н.Н. Работалов, М.А. Мельников // Сайт ВИКС – Высоковольтные измерительные комплексы и системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.viks.ru/blog/kompleksnaya-diagnostika-moshchnyh-elektrodvigatelay> (дата обращения 10.04.2020).

17. Лутай, С.Н. Методы и анализ диагностики асинхронных электродвигателей / С.Н. Лутай, В.В. Коломиец, Б.Б. Кобылянский, И.В. Булгакова // Электротехнические и компьютерные системы. – 2014. – № 15 (91). – С. 306-310 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22006549> (дата обращения 10.04.2020).

18. Методы диагностики асинхронных двигателей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://poisk-ru.ru/s35646t8.html> (дата обращения 10.04.2020).

19. Методы диагностики неисправностей асинхронных электродвигателей [Электронный ресурс]: Онлайн журнал электрика eleman. – Режим доступа: <http://elektrica.info/metody-diagnostiki-neispravnostej-asinhronnyh-elektrodvigatelay/> (дата обращения 10.04.2020).

20. Методы диагностики неисправностей электродвигателей. Ремонт и эксплуатация электродвигателей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://eti.ru/articles/spravochnik/spravochnik_1680.html (дата обращения 10.04.2020).

21. Новоселов, Е. М. Разработка метода функциональной диагностики обмотки ротора асинхронных электродвигателей собственных нужд электростанций по внешнему магнитному полю : диссертация ... кандидата технических наук : 05.14.02 / Новоселов Евгений Михайлович; [Место защиты: Иван. гос. энергет. ун-т]. - Иваново, 2018. - 234 с.

22. ООО «Измерение». Лаборатория неразрушающего контроля [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://izmerenie.pro/abakan/vizualnyij-i-izmeritelnyij-kontrol.html>; <https://izmerenie.pro/abakan/vibroakusticheskij-kontrol.html> (дата обращения 10.04.2020).

23. Петухов, В. С. Диагностика состояния электродвигателей. Метод спектрального анализа потребляемого тока / В. С. Петухов, В. А. Соколов // Новости электротехники. – 2005. №1(31) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://news.elteh.ru/arh/2005/31/11.php> (дата обращения 10.04.2020).

24. Пономарев, В.А. Комплексный метод диагностики асинхронных электродвигателей на основе использования искусственных нейронных сетей / В.А. Пономарев, И.Ф. Суворов // Новости электротехники. – 2011. – № 2 (68).

25. Приборы для вибродиагностики от компании БАЛТЕХ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.baltech.ru/catalog.php?catalog=30>; <https://www.baltech.ru/catalog.php?catalog=193> (дата обращения 10.04.2020).

26. Сушко, А.Е. Повышение эффективности управления металлургическим производством путем комплексного внедрения ресурсосберегающих технологий на основе методов и средств вибрационной диагностики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://diatechnic.ru/attachments/e/8/e8f05b715a7c96cf62e10ce12ce043f3.pdf> (дата обращения 10.04.2020).

27. Сушко, А.Е. Повышение эффективности металлургического производства на основе методов и средств вибрационной диагностики [Текст] / А. Е. Сушко // Сталь. - 2011. - № 8. - С. 68-73

28. Сидельников, Л.Г. Обзор методов контроля технического состояния асинхронных двигателей в процессе эксплуатации / Л.Г. Сидельников, Д.О. Афанасьев // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2013. – № 7. – С. 127–137 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-metodov-kontrolya-tehnicheskogo-sostoyaniya-asinhronnyh-dvigateley-v-protssesse-ekspluatatsii> (дата обращения 10.04.2020).

29. Система «РЕММ» - мониторинг и диагностика технического состояния крупных электрических машин [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://kip24.ru/wa-data/public/site/data/files/000001223_remm.pdf (дата обращения 10.04.2020).

30. Тетерин, Ю.П. Вибродиагностика турбогенераторов / Ю.П. Тетерин, О.А. Пророков, В.Э. Куриленко, В.. Титовец, Ю.П. Аксенов, А.П. Прошлецов, А.Г. Фаробин, И.В. Ярошенко // Сайт ДИАКС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.diacs.com/blog/vibrodiagnostika-turbogeneratorov> (дата обращения 10.04.2020).

31. Шевчук, В.А. Сравнение методов диагностики асинхронного двигателя / В.А. Шевчук, А.С. Семёнов // Международный студенческий научный вестник. – 2015. – № 3-4 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=14100> (дата обращения 10.04.2020).

32. Шумилов, Ю.А. Уменьшение повреждаемости статоров мощных турбогенераторов, вызванных вибрацией в торцевой зоне (анализ, гипотезы, эксперимент) / Ю.А. Шумилов, А.В. Штогрин // Электротехника и электромеханика. – №1. – 2014. – С.37-39.

33. Экспертная система контроля технического состояния вращающихся машин [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.diacs.com/ru/article.php> (дата обращения 10.04.2020).

34. Экономическое обоснование внедрения вибродиагностики для промышленного оборудования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://blog.vibroexpert.ru/?p=327> (дата обращения 10.04.2020).

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Классификация по связи диагностируемых параметров с видами дефектов двигателя переменного тока

Диагностируемый параметр	Виды дефектов асинхронного двигателя и параметры														
	Повреждение изоляции обмотки относительно корпуса	Повреждение межфазной изоляции	Межвитковые замыкания	Дефект обмотки статора	Короткие замыкания в обмотке статора	Дефекты обмотки ротора	Повреждения подшипников	Повреждения ротора	Повреждение магнитопровода ротора	Повреждение магнитопровода статора	Динамический эксцентриситет	Статический эксцентриситет	Несимметрия питающего напряжения	Несогласованность питающего напряжения	Дефект контактных соединений
Вибрация	-	-	-	1	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-
Акустические колебания	-	-	1	-	-	-	1	1	1	1	1	1	1	-	-
Действующие значения тока	1	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	1	-	-	-
Действующие значения напряжения	1	-	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	1	-	-
Спектр тока	-	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-	-	-
Спектр напряжения	-	-	-	-	1	-	-	1	-	-	-	1	1	1	-
Мгновенные значения мощности	-	1	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-
Спектр мощности	-	1	1	1	-	-	-	-	1	-	1	-	1	1	-
Величина потерь мощности	-	1	1	1	-	-	1	1	1	-	1	-	1	1	1
Температурный, тепловизионный анализ	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1
Токи утечки	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Уровень электрической прочности изоляции	1	-	1	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-

*1-наличие связи, - отсутствие связи

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Технические характеристики виброанализатора CSI 2140

Физические размеры	
Габаритные размеры	248 x 226 x 40 мм
Вес	1,79 кг
Жидкокристаллический дисплей	Цветной, 151 x 115 мм TFT со светодиодной подсветкой.
	Разрешение 640 x 480 пикселей. Сенсорный экран - резистивный, двухкоординатный.
Клавиатура	Выпуклые кнопки, 12 штук, с подсветкой, электролюминесцентная подсветка панели.
Условия окружающей среды	
Рабочая температура	от -20 °С до 50 °С
Температура продолжительного хранения	от -20 °С до 35 °С с аккумулятором *
Температура продолжительного хранения	от -40 °С до 65 °С без аккумулятора
Класс защиты	Герметичный корпус, класс защиты IP-65
*Хранение при повышенных температурах значительно снижает срок службы аккумулятора.	
Питание	
Аккумулятор	Литий-ионный аккумуляторный блок
	Защищенный выход, 7,2 В (штатное напряжение)
	Светодиодный индикатор на блоке
	Более 10 часов непрерывного использования
	Время зарядки 4 часа (в штатных условиях)
	Температура зарядки от 0 °С до 35 °С
Характеристики измерений	
Частотный анализ	
Аналого-цифровой преобразователь	Разрядность 24 бита.
Автоматическая коррекция интегратора	Позволяет выполнять точные измерения для вибраций с частотами до 0,2 Гц.
Режимы усреднения	Обычное, экспоненциальное, с удержанием пика, с отслеживанием порядка, отрицательное, с синхронизацией времени.
Курсоры	Одиночный, гармоники, движущаяся гармоника, боковая полоса и время/частота для виброграмм.
Динамический диапазон	Преобразователь имеет динамический диапазон 120 дБ.
Диапазоны частот	От 0 до 10 Гц минимум, от 0 до 80 кГц максимум, <5%
Единицы измерения частоты	Гц, цикл/мин, порядки
Полный диапазон	Вход акселерометра: 0-20 В, вход напряжения: от -20 В до + 20 В.
Уровень собственных шумов	Обычно меньше 20 мкВ в 400-строчном спектре при максимальной частоте 1000 Гц.
	5000 в режиме маршрутов, 10 000 в режиме анализа.

Разрешение	100, 200, 400, 800, 1600, 3200, 6400 или 12 800 линий. Реальное увеличение (True Zoom) обеспечивает эффективное разрешение до 300 000 линий.
Отклик	Плоский до 0 Гц для не интегрируемых сигналов, связанных по постоянному току; при подключении с развязкой по переменному току опционально мпад -3 дБ на 1 Гц.
Шкала	Линейная или логарифмическая, по осям X и Y.
Окна	Хеннинга или плоское
Емкость памяти	
Внутренняя память	1 Гб
Внешняя память	SD (Secure Digital). Фактически неограниченная память с использованием стандартных карт SDHC SD до 32 Гб.
Скорость анализа данных	
400 строк, спектр 1000 Гц	С перекрытием 67%, 6 усреднений в секунду
1600 строк, спектр 1000 Гц	С перекрытием 67%, 3 усреднения в секунду
Характеристики входов	
Входные сигналы	
	Внутренний источник питания постоянного тока 2 мА, 20 В (штатное напряжение) анализатора снабжает такие датчики, как акселерометры, подключенные к входам канала акселерометра.
Уровень максимального сигнала на входе	
Каналы акселерометра A, B, C, D; напряжения A, B, C, D (С,Б - опционально)	
Вход акселерометра	0-20 В
	Уровень максимальной вибрации +/- 90 g при использовании акселерометра 100 tB/g
Полное сопротивление на входе	Более 125 кОм
Вход напряжения	от -20 В до +20 В
Типы входных сигналов	
Динамические сигналы	Один канал / Два канала / Четыре канала (опционально)
Постоянные сигналы	Один канал / Два канала / Четыре канала(опционально)
Частота вращения/сигнал датчика оборотов	ТТЛ сигнал (TTL pulse)
Ввод с кнопочной панели	Все буквы алфавита
Каналы сбора данных	
Каналы сбора данных	2 параллельных канала (4 опционально), динамический вход + фаза 2 параллельных канала (4 опционально), вход постоянного сигнала
	2 параллельных канала (4 опционально), сбор данных по маршруту + фаза 2 параллельных канала (4 опционально), отображение - спектр и график
	2 параллельных канала (4 опционально), переходные процессы + фаза 2 параллельных канала (4 опционально), ODS/модальный анализ + фаза

Инструменты полевого анализа (анализ при прохождении маршрута)	
Наложение характерных частот неисправностей на график	Выявление источника пиков на графике
Тренды параметров	до 12 параметров; тренды до 2 лет и более
Цветовое кодирование уровней предупредительной сигнализации	Отображение параметра со сработавшей сигнализацией; отображение величины в процентах
Автокорреляция временной диаграммы	Определение случайного или периодического воздействия
Типы входных датчиков	
Портативные датчики	Акселерометры, датчики скорости, датчики частоты вращения/оборотов, датчики температуры, датчик магнитного потока, токовые клещи, датчики давления, ударный молоток
Постоянно установленные датчики	Любые датчики вибраций или динамической нагрузки с сигналом напряжения на выходе; любые сигналы постоянного тока.
Единицы измерения на входе	
Единицы измерения вибрации	Ускорение: g
Другие динамические сигналы	Скорость: мм/с или дюймы/с
	Сдвиг: микроны или тысячные дюйма
	Любые задаваемые пользователем единицы
	Любые задаваемые пользователем единицы
Вход датчика оборотов	
Диапазон измерения частот вращения	от 1 до 180 000 об/мин
Уровень на входе датчика оборотов	Вход ТТЛ, внутренняя обработка не ТТЛ сигналов, регулируемый уровень триггера.

Бакалаврская работа выполнена мной самостоятельно. Используемые в работе материалы и концепции из опубликованной научной литературы и других источников имеют ссылки на них.

Отпечатано в ____1____ экземпляре.

Библиография ____34____ наименований.

Электронный экземпляр сдан на кафедру.

« 15 » июня 2020г.
(дата)


(подпись)

Ерахтин В.Ю.
(ФИО)

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Хакасский технический институт – филиал ФГАОУ ВО
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
институт

Электроэнергетика
Кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
Г.Н. Чистяков
подпись инициалы, фамилия
«25» 06 2020г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА
13.03.02.»Электроэнергетика и электротехника»
(КОД И НАИМЕНОВАНИЕ СПЕЦИАЛЬНОСТИ)

Анализ современных методов контроля и диагностики асинхронных
двигателей ООО «ИСО»
наименование темы

Руководитель Дулесова 25.06.20 доцент каф.ЭЭ,к.э.н. Н.В. Дулесова
подпись, дата инициалы, фамилия

Выпускник Ерахтин 15.06.2020
подпись, дата инициалы, фамилия

Нормоконтролёр Кычакова 15.06.2020
подпись, дата инициалы, фамилия

Абакан 2020